



WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS  
RESEARCH

# **HARMONISCHE VOORSPELLING VAN WATERSTANDEN TE VLISSINGEN, TER AANVULLING VAN DE OMES DATABANK**



Vlaamse overheid  
Departement Mobiliteit en Openbare Werken  
**Waterbouwkundig Laboratorium**

## **Model 713/22**

**HARMONISCHE VOORSPELLING VAN  
WATERSTANDEN TE VLISSINGEN, TER  
AANVULLING VAN DE OMES DATABANK**

Opdrachtgever: VLIZ

januari 2008

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanlede, J.; De Mulder, T.; Mostaert F. (2008). Harmonische voorspelling van waterstanden te Vlissingen, ter aanvulling van de OMES databank. WL Rapporten, 713/22. Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout, België

Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115

B-2140 Borgerhout (Antwerpen)

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: [waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

<http://www.watlab.be>

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de uitgever.

## Documentidentificatie

<b>Titel:</b>	Harmonische voorspelling van waterstanden te Vlissingen, ter aanvulling van de OMES databank		
<b>Opdrachtgever:</b>	VLIZ	<b>ID:</b>	WL2008R713-22_rev1_3
<b>Keywords (3-5):</b>	Harmonische analyse		
<b>Tekst (p.)</b>	9	<b>Tabellen (p.)</b>	
<b>Bijlagen (p.)</b>	21	<b>Figuren (p.)</b>	
<b>Type:</b>	<input type="checkbox"/> Concept <input checked="" type="checkbox"/> Eindversie		
<b>Verspreiding:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Opdrachtgever <input type="checkbox"/> Publiek <input type="checkbox"/> Vlaamse overheid <input type="checkbox"/> Enkel binnen het WL		
	<input type="checkbox"/> Vrijgegeven door opdrachtgever vanaf		

## Goedkeuring

Auteur J. Vanlede	Afdelingshoofd F. Mostaert
----------------------	-------------------------------

## Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur	Projectleider	Revisor
1.1		Concept	JVE	JVE	TDM
1.2	31-01-2008	Opmerkingen revisor	JVE	JVE	TDM
1.3	12-02-2008	Definitief	JVE	JVE	TDM

## Abstract

Deze opdracht kadert binnen de bestaande samenwerkingsovereenkomst tussen het WL Borgerhout en het VLIZ.

Aan de hand van de publiek beschikbare gegevens uit de Xtide database (<http://www.flaterco.com/xtide/>), wordt een harmonische voorspelling gemaakt van de tijdstippen van hoog- en laagwater te Vlissingen. In vergelijking met het tijboekje voor 2007 wordt (voor de maand januari) het tijdstip van hoog- en laagwater op 3 minuten na nauwkeurig voorspeld, en de hoogte op 5 cm na.

Gebruik makend van de gekende gemiddelde tijkarakteristieken te Vlissingen wordt elk harmonische voorspeld getij verder geclassificeerd als doottij, gemiddeld tij of springtij.

Vanuit de tijdstippen van hoog- en laagwater te Vlissingen als referentiestation kan het overeenkomstige tijdstip van hoog- en laagwater op een willekeurige plaats in het Schelde-estuarium worden berekend aan de hand van de gekende voortplantingseigenschappen van de getijgolf. Bij benadering kunnen hiervoor de waardes worden gebruikt die gelden voor de voortplanting van een gemiddeld getij

# 1. LIJST VAN AFKORTINGEN

HW	Hoogwater
LW	Laagwater
OMES	Onderzoek MilieuEffecten Sigmaplan
ST	Springtij
DT	Doodtij
GT	Gemiddeld Tij

## 2. INLEIDING

Deze opdracht kadert binnen de bestaande samenwerkingsovereenkomst tussen het WL Borgerhout en het VLIZ.

### 2.1 Situering OMES

De stormvloed van 3 januari 1976 en de eropvolgende overstromingen gaven aanleiding tot de uitvoering van een omvangrijk plan dat het gehele Zeescheldebekken moet beschermen tegen overstromingen: het Sigmaplan. Na een nieuwe storm in 1993, met de hoogste waterstanden ooit gemeten op de Zeeschelde, werd hiertoe een nood- en urgentieprogramma goedgekeurd. De uitvoering hiervan diende wel te passen binnen een integrale visie op het beheer van de waterlopen. Dit leidde tot een Algemene Milieu-Impact studie voor het Sigmaplan en aansluitend tot een Onderzoek Milieu-Effecten Sigmaplan, OMES genaamd (Meire et al., 1997). Het OMES-project had tot doel de biogeochemische kennis van de Zeeschelde te actualiseren en in belangrijke mate uit te breiden. Als vervolg hierop werd een uitgebreid monitoringprogramma opgestart: "Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaplan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu", meestal ook kortweg Omes genaamd. Dit OMES project werd opgericht om de biogeochemische kennis van de Zeeschelde te actualiseren en in belangrijke mate uit te breiden, in het kader van het Sigmaplan. In de nieuwe visie waarbij veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid tesamen worden aangepakt, is een goede kennis van het estuarine ecosysteem van de Schelde onontbeerlijk (Maris et al, 2004).

### 2.2 Situering van de opdracht

De aanzet tot voorliggend rapport ligt in een uitwisseling van ideeën tussen het Waterbouwkundig Laboratorium en het VLIZ over hoe de OMES databank kwalitatief kan verbeterd worden. Het waterbouwkundig Laboratorium wil als onderzoeksinstelling optimaal gebruik maken van de verzamelde gegevens in de OMES databank ter calibratie en validatie van zijn computermodellen, en om systeemkennis over het Schelde-estuarium uit op te doen. Het VLIZ treedt op als beheerder van de OMES databank.

Een belangrijk deel van de metingen die in de OMES databank zijn ondergebracht, zijn getij-onafhankelijk opgemeten. Dit houdt in dat de metingen niet op een vast moment in het getij zijn uitgevoerd. De metingen zijn in de databank natuurlijk gekoppeld aan een tijdstip en een locatie. In de databank is geen informatie opgeslagen die de fase van het getij (eb/vloed) en van de springtij-doodtij cyclus bepaalt op het moment (en op de locatie) van de meting. Deze extra informatie kan een belangrijke meerwaarde zijn voor de interpretatie van de metingen, aangezien ze de clustering van de meetgegevens toelaat volgens fase van het getij en volgens fase van de springtij/doodtij cyclus.

Uit analyse van metingen te Prosperpolder blijkt dat voor een gemiddeld tij, de sedimentconcentraties op 1.5m boven de bodem in de winter 2.2 keer hoger liggen dan in de zomer. Bij vloed is de concentratie een factor 1.4 hoger dan bij eb. Evenzo is de concentratie bij springtij een factor 1.4 hoger dan bij doortij (Fettweis et al, 1998). Deze verhoudingen zijn slechts een indicatie, en zullen verschillen voor andere parameters en andere locaties. Maar toch geven de vermelde waarden het belang aan van het ondervangen van de eb/vloed en springtij/doodtij dynamiek bij de interpretatie van lange tijdreeksen van meetgegevens.

Voorgaande behoefte-analyse is verder geconcretiseerd op een vergadering tussen het WL en het VLIZ op 18 oktober in Oostende, waar de methodologie en het tijdspad werden afgesproken.



## **3. METHODOLOGIE EN INSTRUMENTARIUM**

### **3.1 Probleembeschrijving**

Momenteel bestaat de tijdsinformatie die in de OMES databank is gekoppeld aan de meetdata enkel uit de (lokale) tijd van de meting. Om de OMES-gegevens ook te kunnen interpreteren in functie van de positie van de meting in de getij- en de springtij-doodtij cyclus, moet er extra informatie in de databank komen.

De springtij-doodtij (ST/DT) cyclus heeft een typische tijdsschaal van 14 dagen. De fase in de ST/DT cyclus kan gelijk worden verondersteld over het hele estuarium. De positie van een meting in de springtij-doodtij cyclus hangt dus enkel af van het tijdstip van de meting.

De getijcyclus varieert op een veel kortere tijdsschaal (een belangrijke cyclus (M2) varieert over 12u 25min). De fase in de getijcyclus wordt uitgedrukt in tijdstip tov lokaal HW en hangt af van het moment van de meting én van de locatie in het estuarium.

### **3.2 Methodologie**

Om voor een willekeurig tijdstip de positie te bepalen in de getijcyclus kan gebruik worden gemaakt van harmonische analyse van het getijsignaal.

Bij een harmonische analyse van waterstanden wordt een lange tijdreeks van waterstanden opgesplitst in amplitudes en fases van een lijst gekende harmonische componenten. Aan de hand van deze componenten kan de waterstand op een willekeurig moment worden voorspeld. Aangezien de karakteristieken van het getij wijzigen over het estuarium, zijn er voor elke locatie andere harmonische componenten nodig. Wanneer de karakteristieken van een estuarium wijzigen (bijvoorbeeld bij significante morfologische wijzigingen) kan het ook nodig blijken om de harmonische constanten opnieuw te bepalen.

Het verschil tussen de harmonische voorspelling van een waterstand en de werkelijk opgetreden waarde wordt voor een groot deel bepaald door de meteorologische omstandigheden op het ogenblik van de meting. Meteorologische effecten (op- en afwaaiing, storm surges,...) op de waterstand zitten niet vervat in de harmonische componenten van een station.

Voor de meeste locaties uit de OMES databank zijn de harmonische componenten niet gekend. Voor locaties zonder vaste tijdmeter kunnen ze ook niet worden bepaald bij gebrek aan langdurige tijdreeksen van waterstanden. Daarom wordt geopteerd om de harmonische voorspelling te maken in één referentiestation, en voor elke locatie in de OMES databank het tijdstip van hoog- en laagwater af te leiden uit het tijdstip van hoog- en laagwater in het referentiestation. Aangezien voor het waterstandstation Vlissingen (gelegen aan de monding van de Westerschelde) de harmonische componenten publiek beschikbaar zijn wordt Vlissingen gekozen als referentiestation.

Het doel van onderliggende opdracht is dan een lijst te genereren met momenten van hoog- en laagwater te Vlissingen, en een bijhorende classificatie per getijcyclus van springtij, gemiddeld tij en doottij. Vanuit de tijdreeks van hoog- en laagwaters te Vlissingen wordt het mogelijk om voor elke willekeurige locatie in het Schelde-estuarium tijdreeksen van hoog- en laagwater af te leiden, door gebruik te maken van de kennis van de voortplanting van de getijgolf, die is geïllustreerd in figuur 1 voor hoogwaters.



Figuur 1: Gemiddelde tijdsverschillen van hoogwater met Antwerpen (-: vroeger)  
Tijdvak 1991-2000. (Bron: Afdeling Kust)

### 3.3 Harmonische voorspelling

Om de harmonische voorspelling te Vlissingen te maken, wordt gebruik gemaakt van het pakket `t_tide`, versie 1.1 (Pawlowicz et al, 2002). Bij dit pakket wordt een versie van de `x_tide` database meegeleverd (<http://www.flaterco.com/xtide/>) met daarin de (publiek beschikbare) harmonische constanten voor 3316 locaties wereldwijd. Het station Vlissingen is in de `x_tide` database opgenomen.

Het `t_tide` pakket biedt de mogelijkheid om uit de harmonische constanten een voorspelling te genereren van waterstanden en van tijdstippen van hoog- en laagwater, rekening houdend met getabelleerde waarden voor de nodale correcties (Pawlowicz et al, 2002).

De vijf belangrijkste componenten die in de harmonische voorspelling voor het station Vlissingen zijn opgenomen, zijn opgenomen in tabel 1.

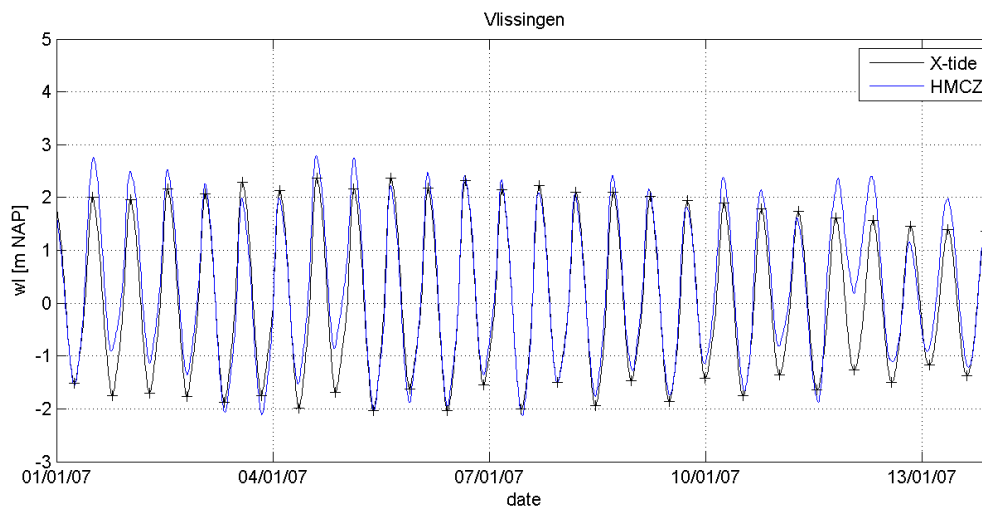


Tabel 1: vijf belangrijkste componenten (in termen van amplitude) te Vlissingen (bron: xtide)

naam	hoeksnelheid [tjycy/hr]	Periode [uur]	Amplitude Vlissingen [m]	Fase Vlissingen [°]
M2	28,98	12,4	1,75	59,6
S2	30,00	12,0	0,48	117,1
N2	28,44	12,7	0,29	32,8
K2	30,08	12,0	0,14	117,8
2MN2	29,53	12,2	0,14	258,6

In totaal worden 94 harmonische componenten betrokken bij de harmonische voorspelling van waterstand te Vlissingen. De volledige lijst met componenten is opgenomen in bijlage B.

Uit deze lijst van amplitudes en fases van de verschillende harmonische componenten kan zowel een doorlopende tijdreeks van waterstanden worden gegenereerd, alsook de tijdstippen van hoog- en laagwater. De harmonische voorspelling wordt vergeleken met de werkelijk opgetreden waterstanden in figuur 2. Vergelijkbare figuren voor het hele jaar 2007 zijn opgenomen in appendix A – figuren.



Figuur 2: Harmonische voorspelling voor het station Vlissingen

De kwaliteit van de harmonische voorspelling wordt besproken in hoofdstuk 4.

### 3.4 Classificatie van de getijden

Elk harmonisch voorspeld getij dient voor deze opdracht te worden gecatalogeerd als een springtij, doottij of gemiddeld tij. Deze classificatie gebeurt op basis van de gepubliceerde gemiddelde getijkenmerken te Vlissingen.

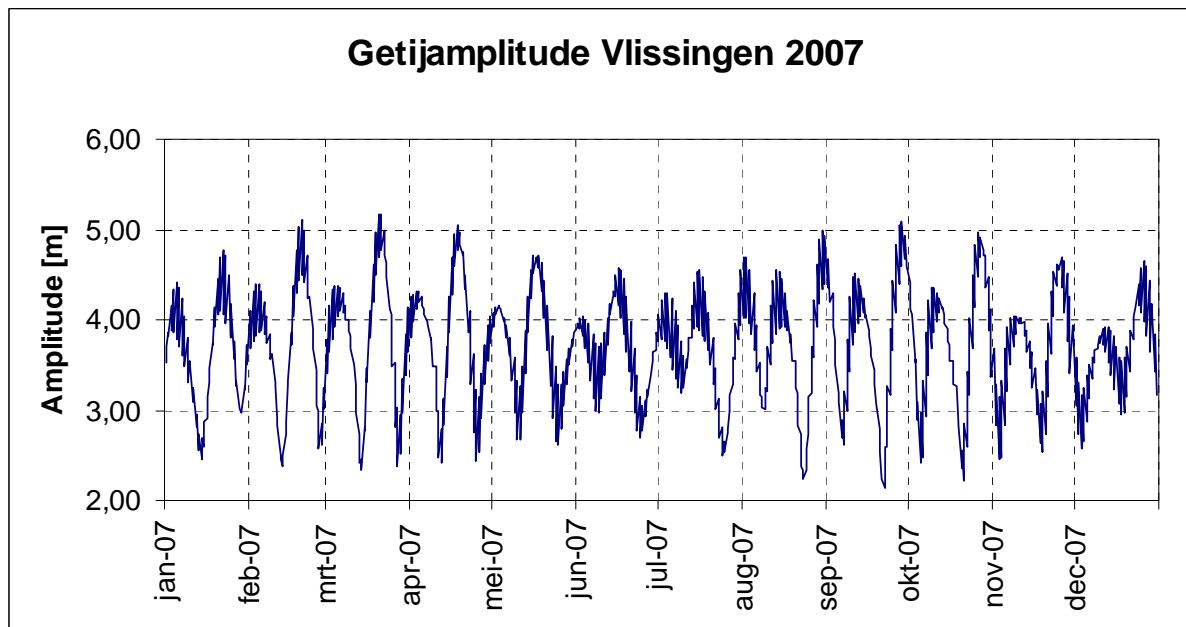
Tabel 2: gemiddelde getijkenmerken te Vlissingen. (Bron: Tijboekje 2007)

	LW	HW	Amplitude
<b>DT</b>	0.26 mTAW	4.79 mTAW	4.53 m
<b>GT</b>	0.51 mTAW	4.40 mTAW	3.89 m
<b>ST</b>	0.85 mTAW	3.91 mTAW	3.06 m

Voor elk voorspeld LW wordt de amplitude berekend tot het volgende voorspelde HW. Op basis van tabel 2 wordt zo elke voorspelde amplitude toegekend aan de klasse doottij, gemiddeld tij of springtij. Als grens tussen de verschillende klassen wordt het gemiddelde

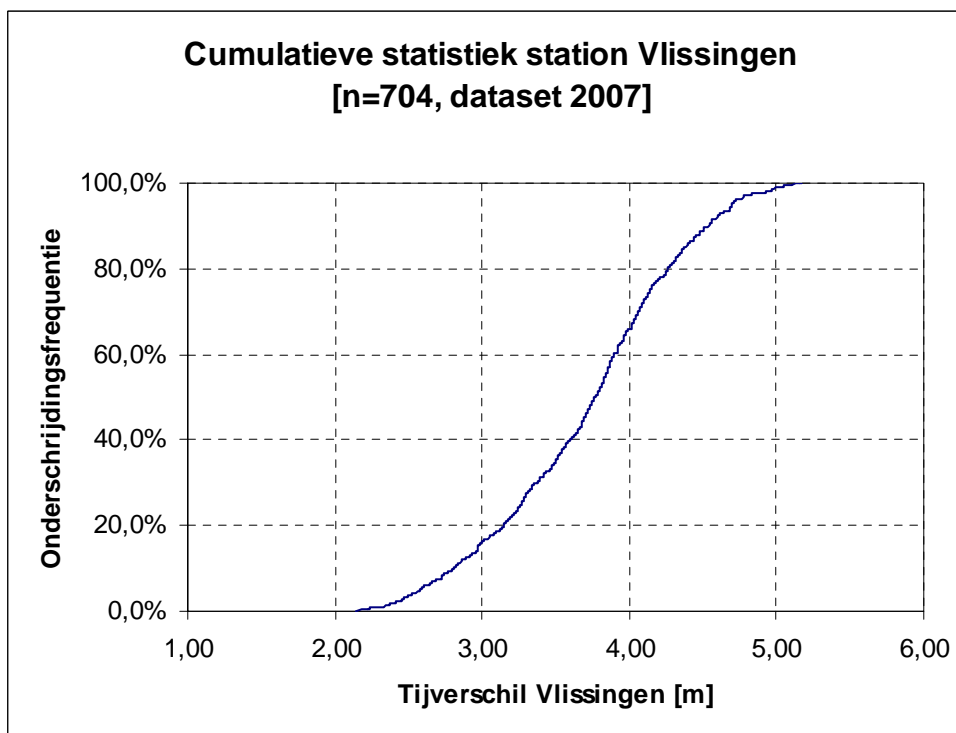
genomen van de karakteristieke waarden uit tabel 2. Zo wordt een getijslag groter dan 4.21m geassocieerd als springtij, en een getijslag kleiner dan 3.48m als doottij. Tussen deze waarden ligt natuurlijk gemiddeld tij.

Ter illustratie is de harmonisch voorspelde getijslag opgenomen in figuur 3. De tweewekelijkse springtij-doottij variatie is duidelijk te onderscheiden in dit signaal.



Figuur 3: harmonisch voorspelde getijslag te Vlissingen

Zoals geïllustreerd in figuur 4, wordt in 2007 de drempel van springtij overschreden in 22% van de gevallen. 33% van de getijden wordt geclassificeerd als doottij, en de resterende 45% als gemiddeld tij.



Figuur 4: cumulatieve frequentieverdeling van de voorspelde getijslag te Vlissingen

## 4. KWALITEIT VAN DE VOORSPELLING

### 4.1 Vergelijking van de voorspelde tijdreeks met de waargenomen tijdreeks

Een eerste manier om de kwaliteit van de harmonische voorspelling te bepalen, is de statistiek van de fout  $e(t)$  te bestuderen.

$$e(t) = h_{HMCZ}(t) - h_{XTIDE}(t)$$

$H_{HMCZ}$  is de waargenomen waterstand te Vlissingen voor 2007 (bron: [www.hmcz.nl](http://www.hmcz.nl)).  $h_{XTIDE}$  is de harmonisch voorspelde waterstand te Vlissingen voor 2007. Beide tijdreeksen hebben een meetfrequentie gelijk aan 10 minuten

Over het jaar 2007 (52417 waarnemingen) bedraagt de mediaan van de fout 9.5 mm. De modus (meest voorkomende waarde) is 0, en het gemiddelde is 4.5 cm. De standaarddeviatie van de fout bedraagt 26 cm. De fout varieert van minimum 59 cm overschatting van de meting tot maximaal 2.5 m onderschatting van de meting. Deze laatste waarde treedt op op 9 november 2007. Op die dag woei er een storm met windkracht 9 uit het Noordwesten, die de grote stormopzet verklaart ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))

De fout heeft een positieve “scheefheid” van 1.6, wat inhoudt dat de verdeling asymmetrisch is met een “staart” richting grotere waarden. Dit houdt in dat voor de grotere afwijkingen, de kans groter is dat de waarneming hoger ligt dan de voorspelling. Voor scheve verdelingen is de mediaan een betere centrummaat dan het gemiddelde. Voor positief scheve verdelingen is het immers te verwachten dat het gemiddelde hoger ligt dan de mediaan.

De gebruikte statistische formules worden toegelicht in bijlage D.

### 4.2 Vergelijking met het tijboekje 2007

Uit het tijboekje 2007 werd voor januari de reeks hoog- en laagwaterstanden gehaald. Zowel de tijdstippen als de hoogtes kunnen nu afzonderlijk worden vergeleken met de harmonische voorspelling. We krijgen zo informatie over twee maten van verschil:

$$\Delta_{tijd}^{HW} = tijd_{tijboekje}^{HW} - tijd_{XTIDE}^{HW}$$

$$\Delta_{hoogte}^{HW} = hoogte_{tijboekje}^{HW} - hoogte_{XTIDE}^{HW}$$

Analoge formules gelden voor laagwater.

Een statistische analyse van hoog- en laagwaters voor januari 2007 leert dat voor Vlissingen de harmonische voorspelling via XTIDE gemiddeld gezien 1,8 min vroeger ligt dan de harmonische voorspelling in het tijboekje (met een standaarddeviatie van 3 minuten) en gemiddeld 2.7 cm hoger (met een standaarddeviatie van 5 cm).

Deze performantie is zeker voldoende voor de beoogde toepassing binnen het kader van dit project.

## 5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Aan de hand van de publiek beschikbare gegevens uit de Xtide database (<http://www.flaterco.com/xtide/>), wordt een harmonische voorspelling gemaakt van de tijdstippen van hoog- en laagwater te Vlissingen. In vergelijking met de informatie in het tijboekje voor januari 2007 wordt het tijdstip van hoog- en laagwater gemiddeld 1,8 min vroeger (met een standaarddeviatie van 3 minuten) en gemiddeld 2.7 cm hoger (met een standaarddeviatie van 5 cm) voorspeld.

Gebruik makend van de gekende gemiddelde tijkarakteristieken te Vlissingen wordt elk harmonische voorspeld getij verder geclassificeerd als doottij, gemiddeld tij of springtij. Over 2007 vallen 33% van de voorspelde getijden in de eerste categorie, 45% in de tweede en 22% in de derde.

Vanuit de tijdstippen van hoog- en laagwater te Vlissingen als referentiestation kan het overeenkomstig tijdstip van hoog- en laagwater op een willekeurige plaats in het Schelde-estuarium worden berekend aan de hand van de gekende voortplantingseigenschappen van de getijgolf. Bij benadering kunnen hiervoor de waardes worden gebruikt die gelden voor de voortplanting van een gemiddeld getij.

De harmonische voorspelling van tijdstippen van hoog- en laagwater en de classificatie volgens type getij is ter illustratie opgenomen in appendix C voor januari 2007.

Een mogelijke extra aanvulling van de OMES database kan zijn om elke meting ook te voorzien van de op dat ogenblik gemeten windsnelheid te Vlissingen, of op de Vlakte van de Raan. Deze dataset wordt niet besproken in deze nota, maar is vrij beschikbaar op de site van het HMCZ ([www.hmcz.nl](http://www.hmcz.nl)).

## 6. REFERENTIES

Afdeling Kust (2007) Getijtafels 2007 voor Nieuwpoort, Oostende, Zeebrugge, Vlissingen, Prosperpolder, Antwerpen en Wintam.

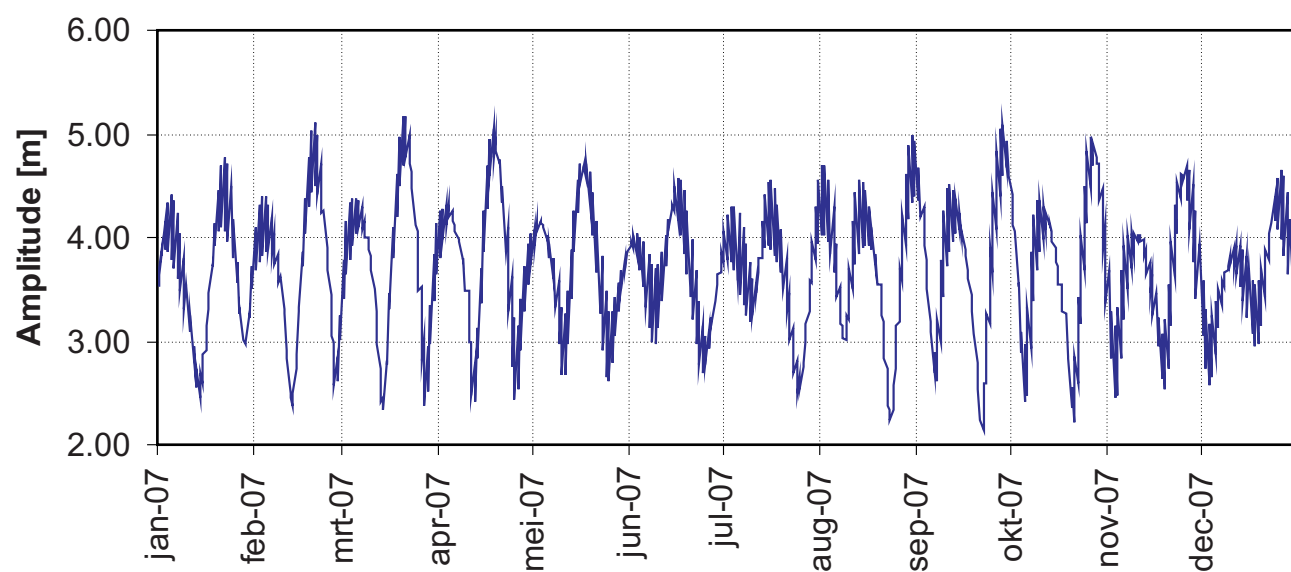
Fettweis, M; Sas, M; Monbaliu, J (1998) Seasonal, Neap-spring and tidal variation of cohesive sediment concentration in the Scheldt Estuary, Belgium. *Estuarine, Coastal and Shelf science* **47**, p21-36

Maris, T; Van Damme, S; Meire, P (2004) Onderzoek naar de gevolgen van het Sigmaplan, baggeractiviteiten en havenuitbreiding in de Zeeschelde op het milieu. Geïntegreerd eindverslag van het onderzoek verricht in 2004. UA - ECOBE

Meire, P; Starink, M; Hoffman, M (1997) Integratie van ecologie en waterbouwkunde in de Zeeschelde: aanleiding tot en situering van het onderzoek milieueffecten sigmaplan (OMES) *Tijdschrift Water*, **95**, p147-165

Pawlowicz R; Beardsley B; Lentz S (2002) Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_Tide. *Computers & Geosciences* **28**, p929-937

## Getijamplitude Vlissingen 2007

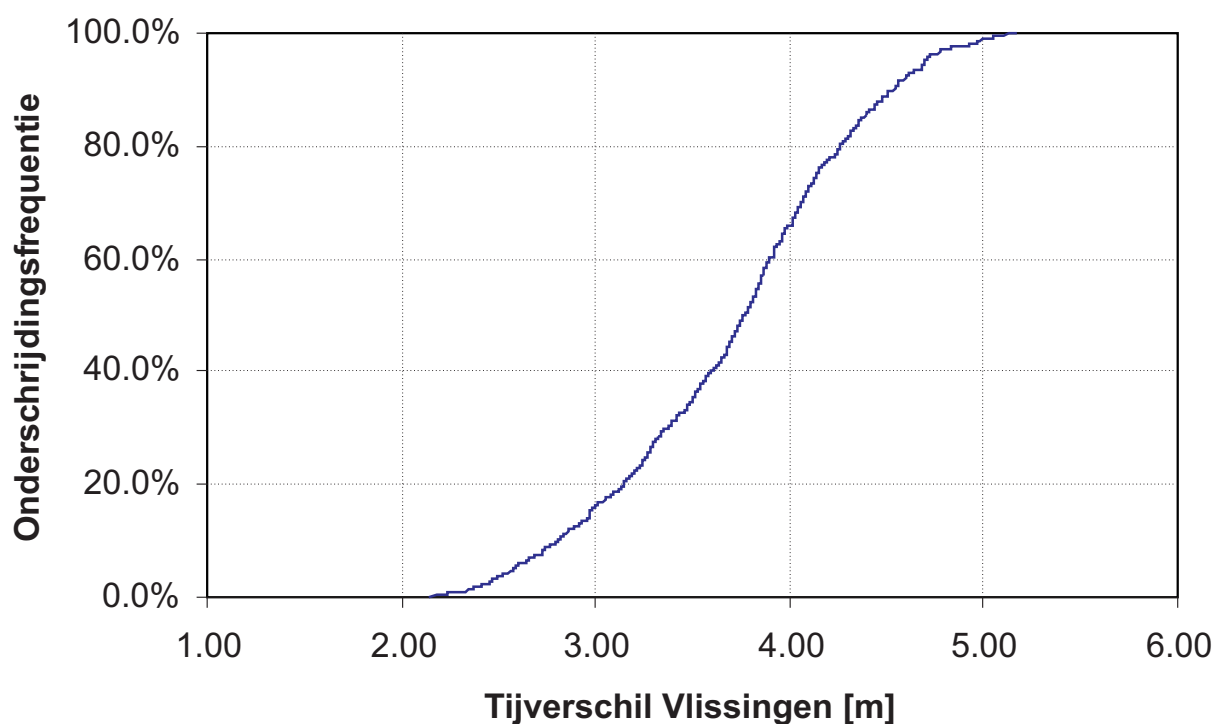


Figuur 5: Harmonische voorspelling van het tijverschil te Vlissingen



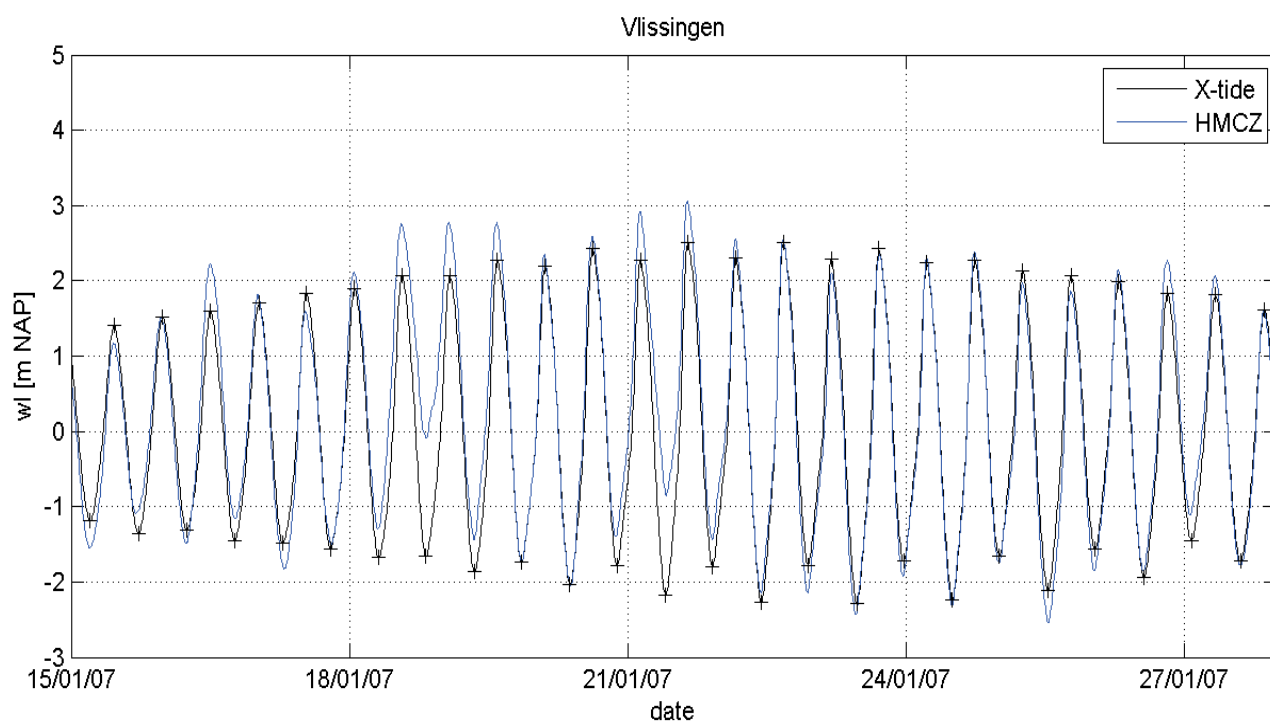
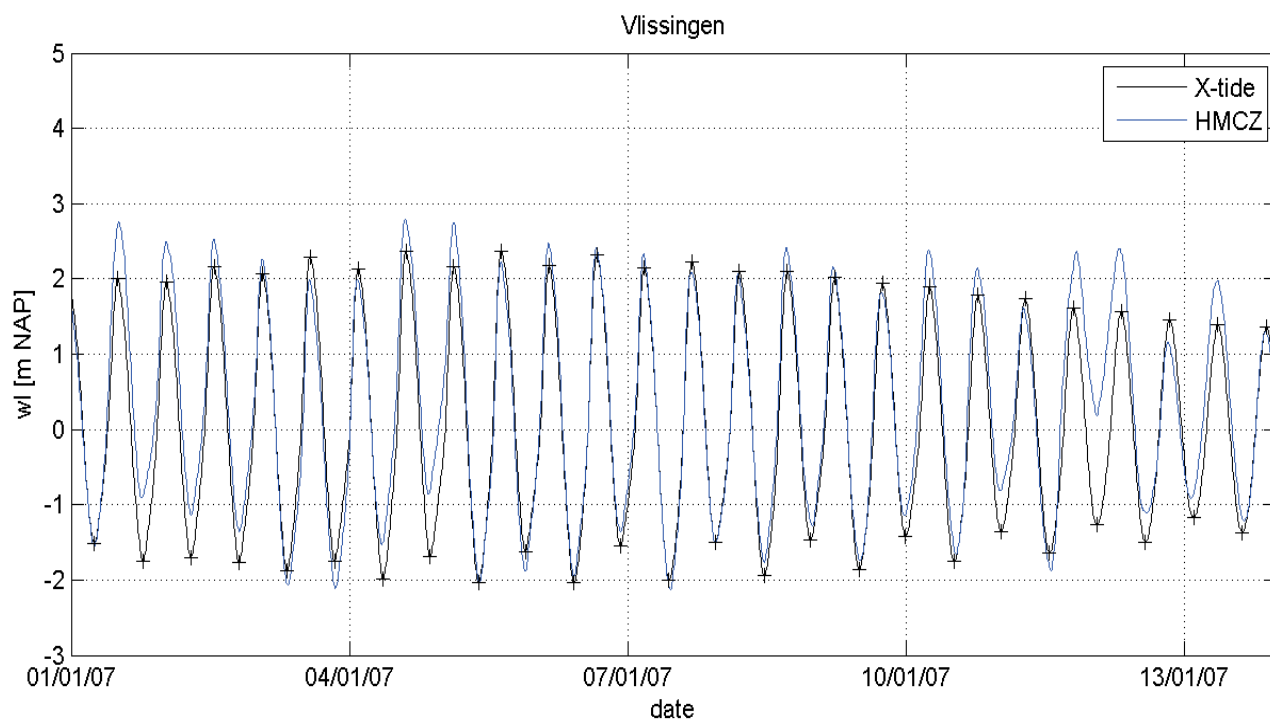


## Cumulatieve statistiek station Vlissingen [n=704, dataset 2007]

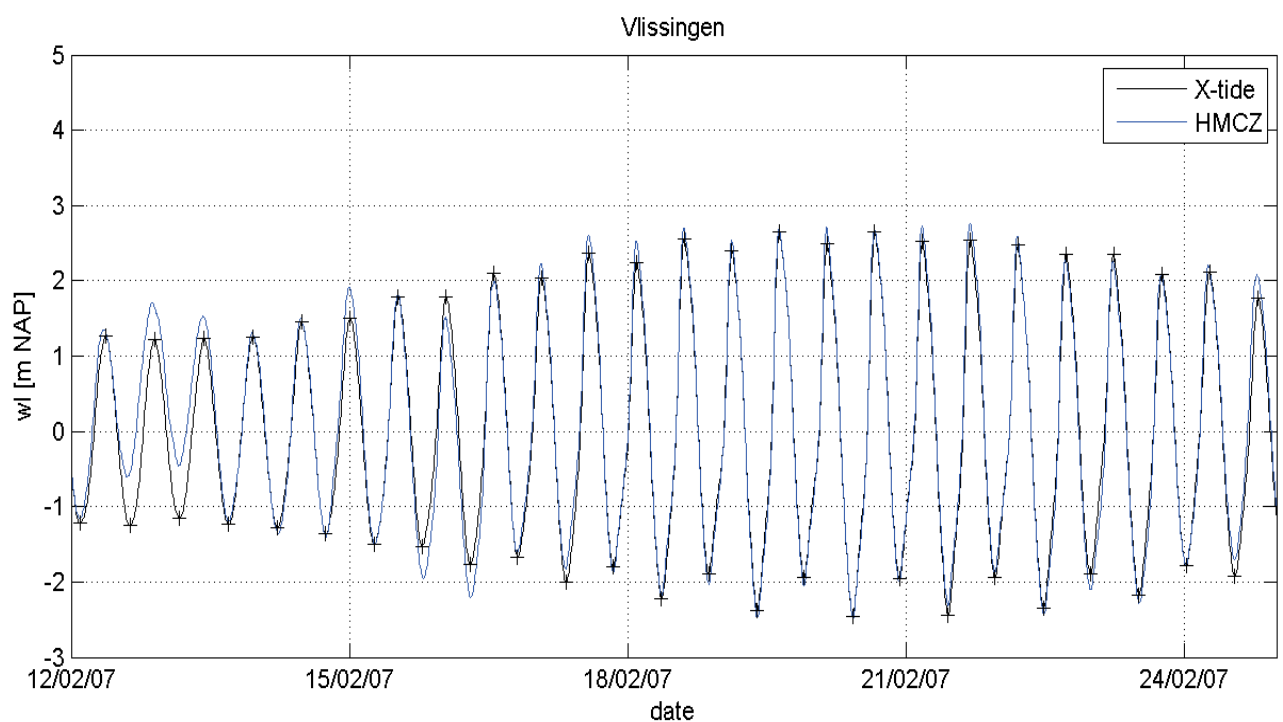
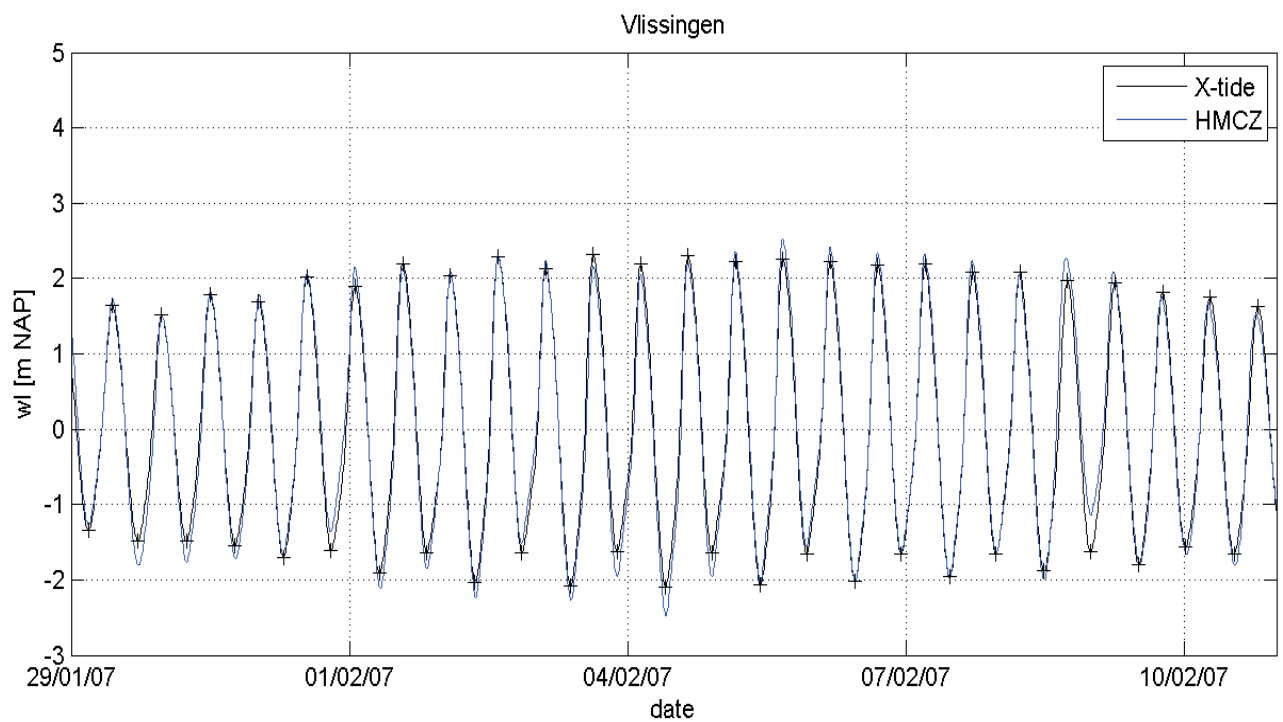


Figuur 6: Onderschrijdingsfrequenties voor de getijamplitude te Vlissingen, gebaseerd op de harmonische voorspelling voor 2007



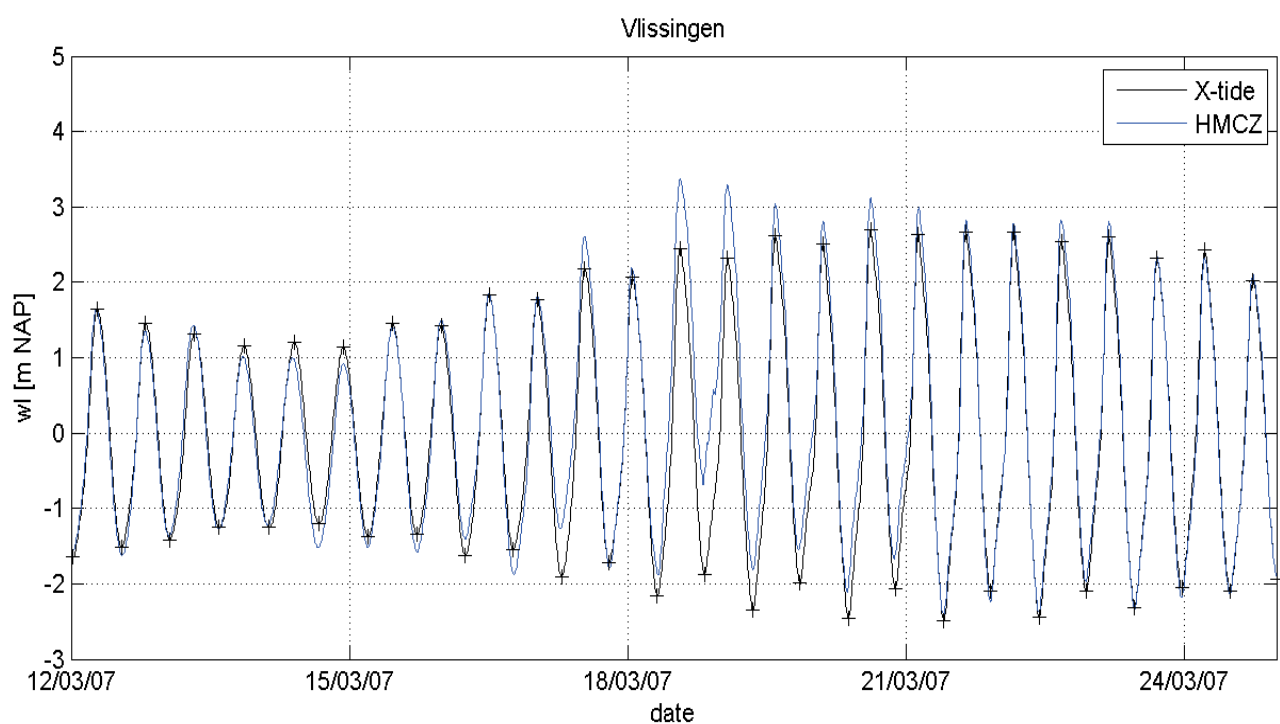
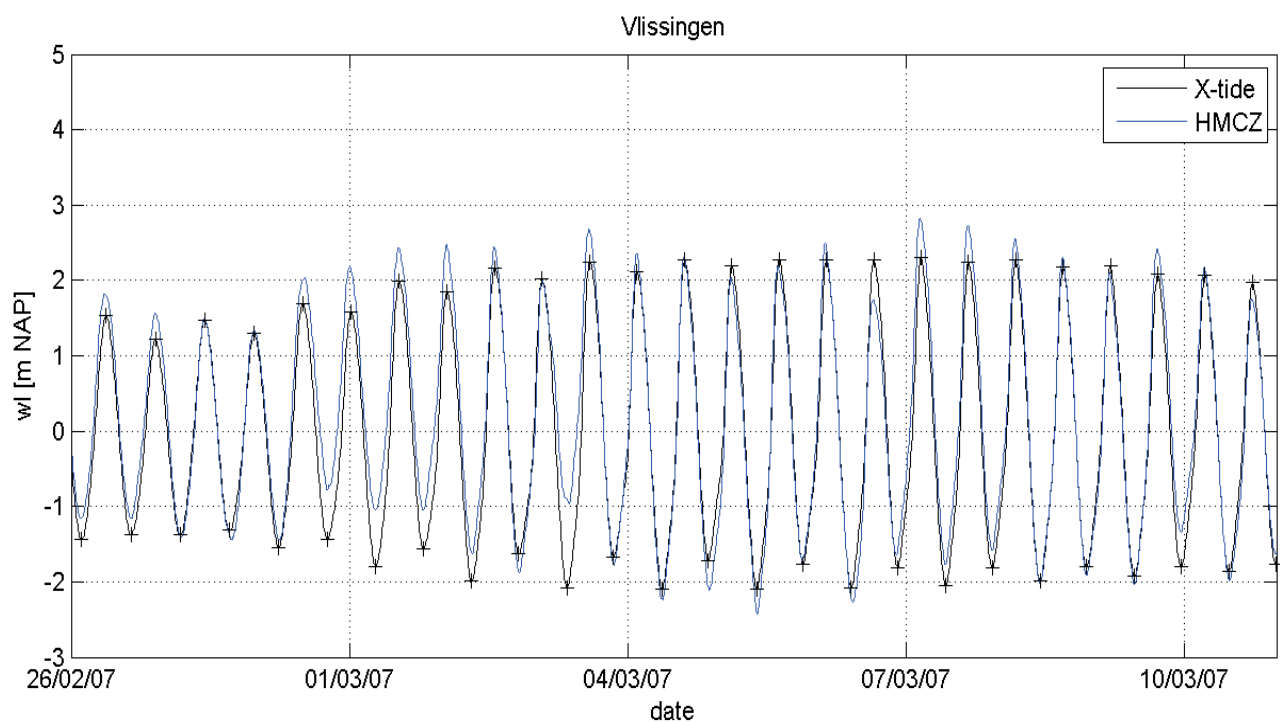


Figuur 7: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen



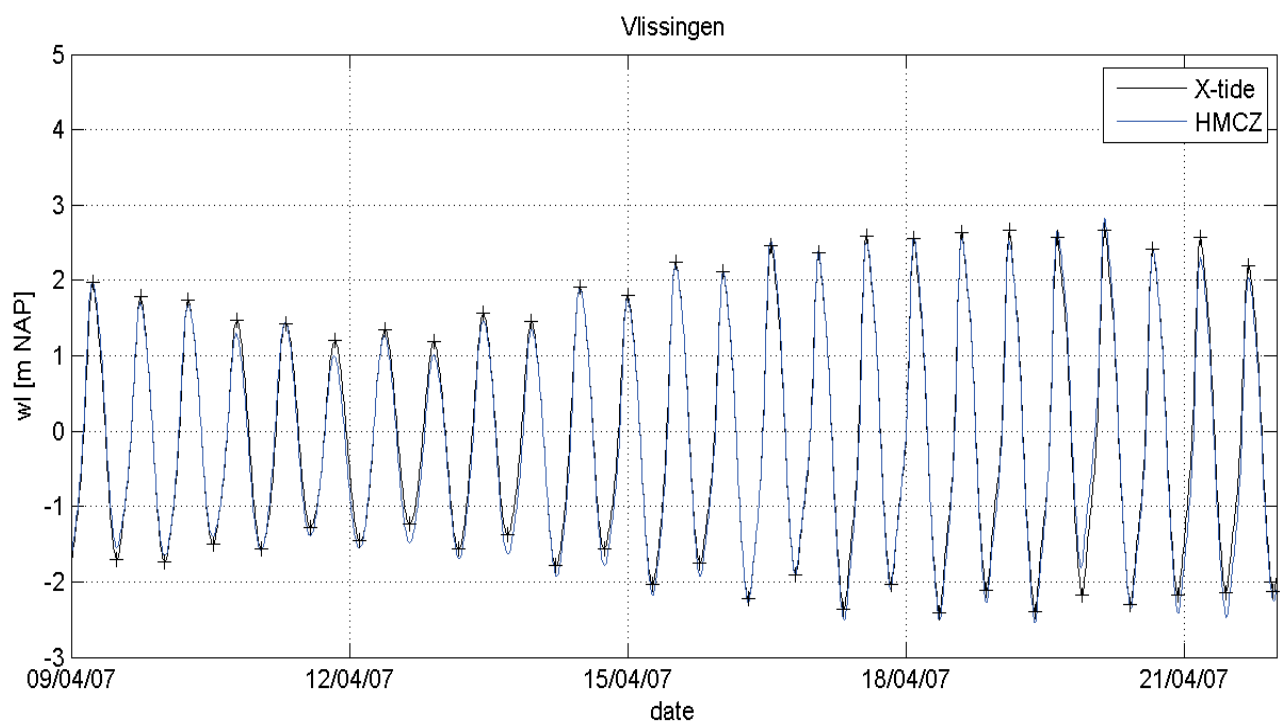
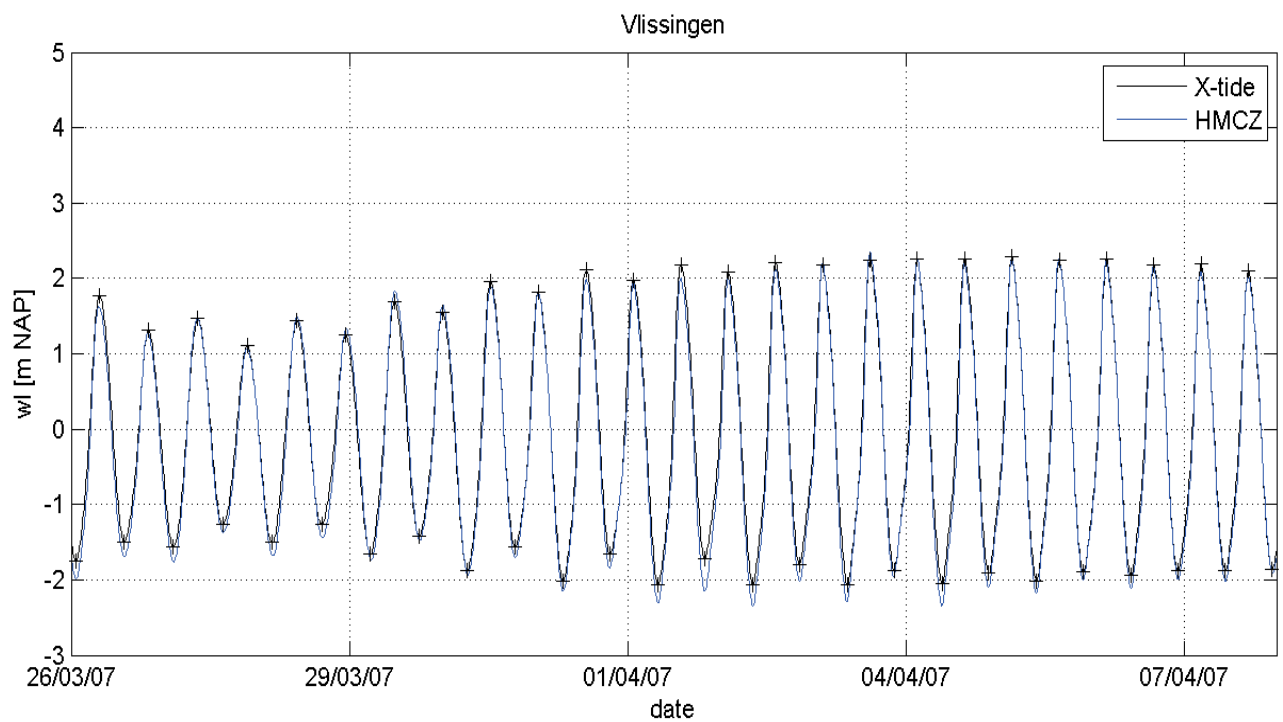
Figuur 8: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen





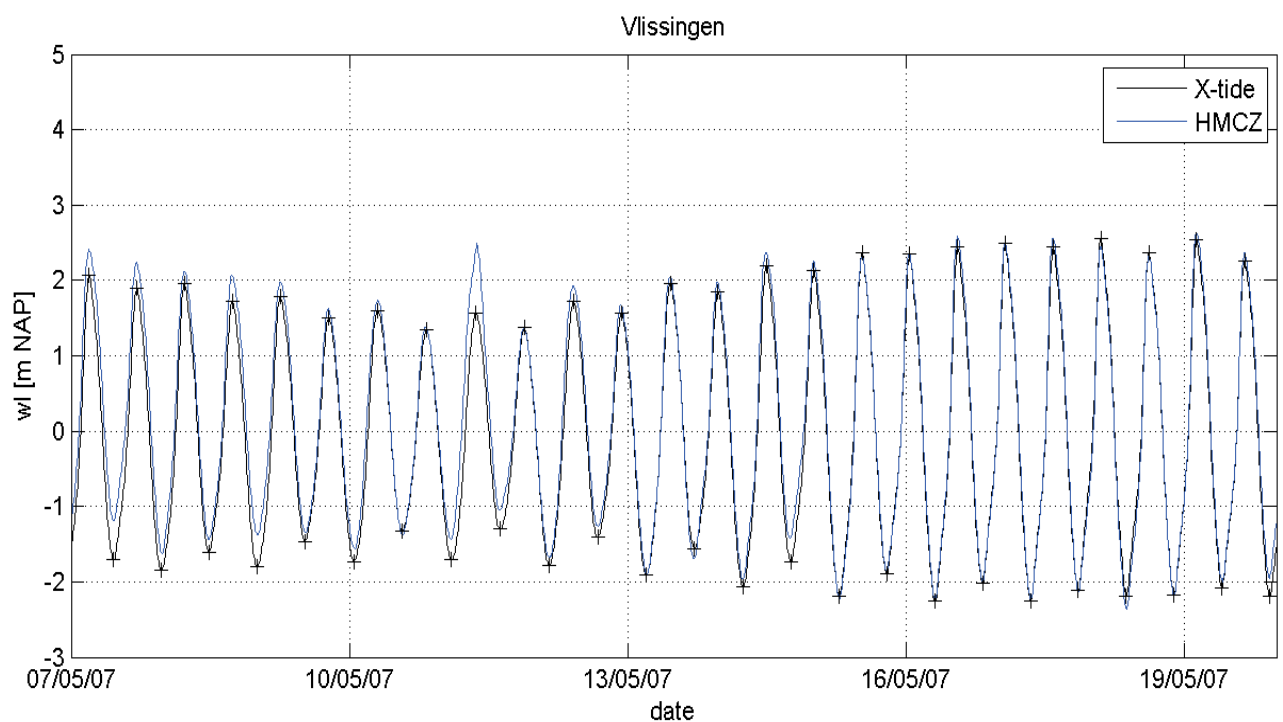
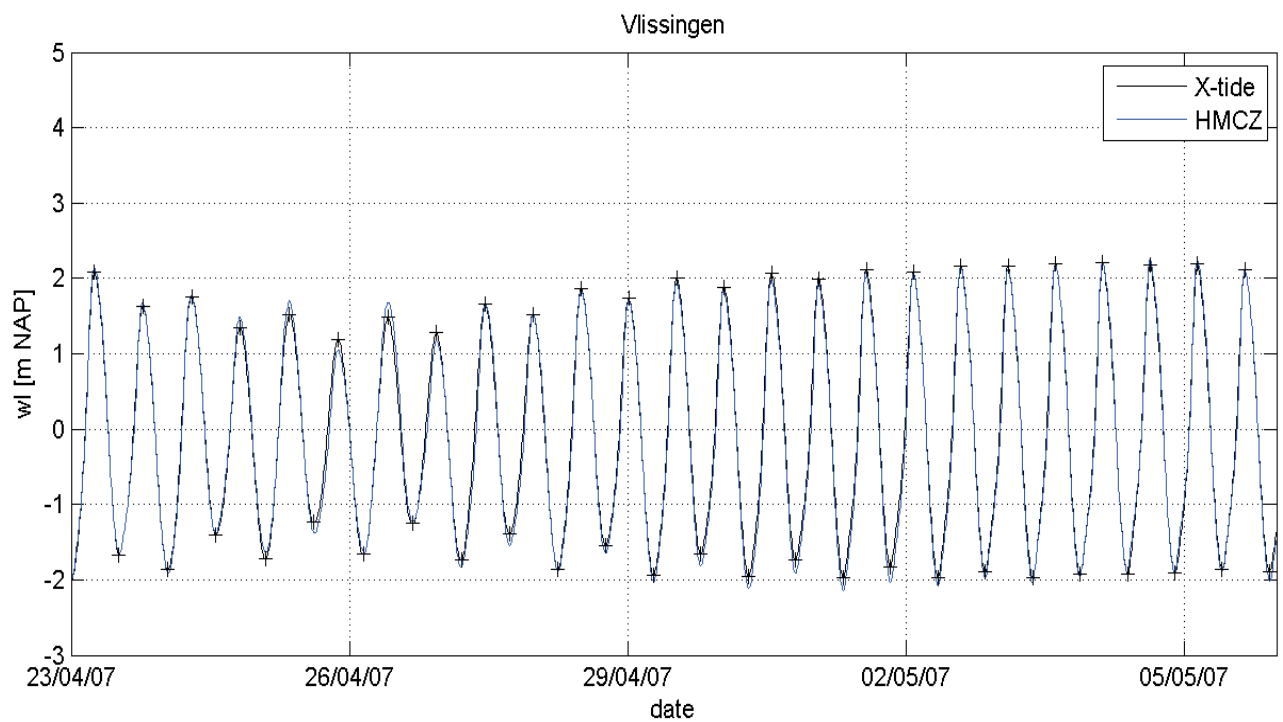
Figuur 9: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen





Figuur 10: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen

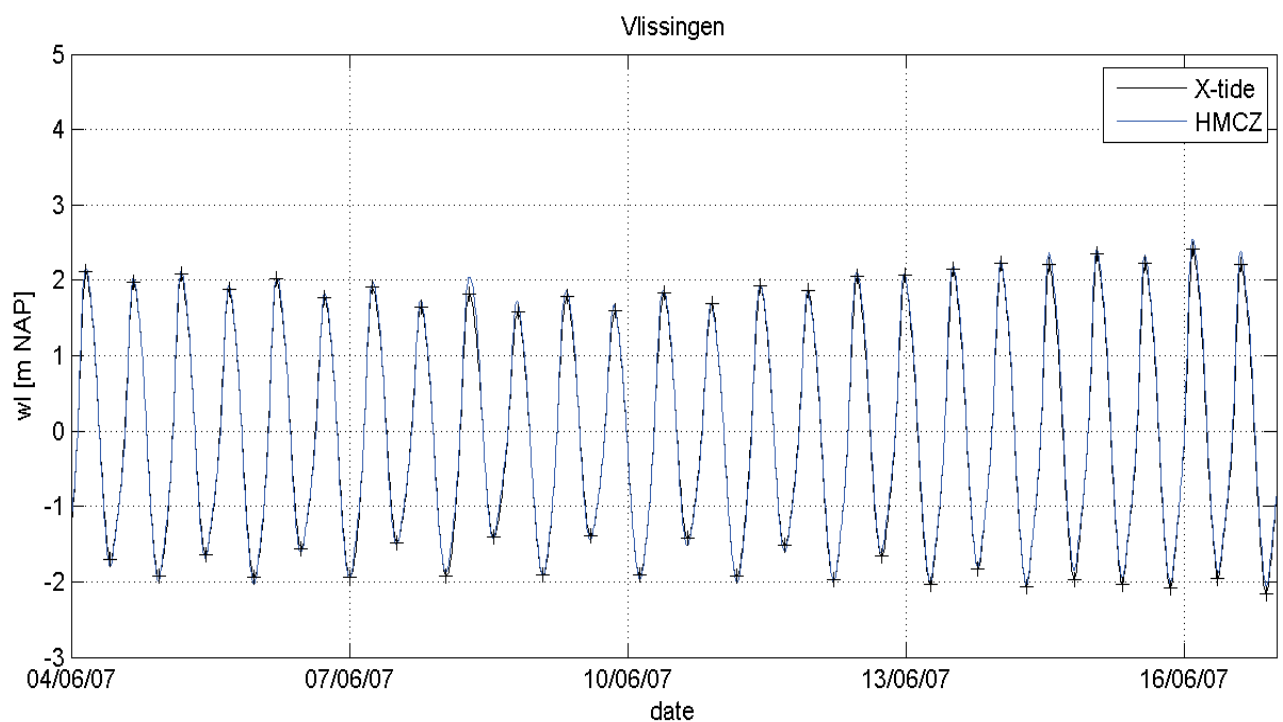
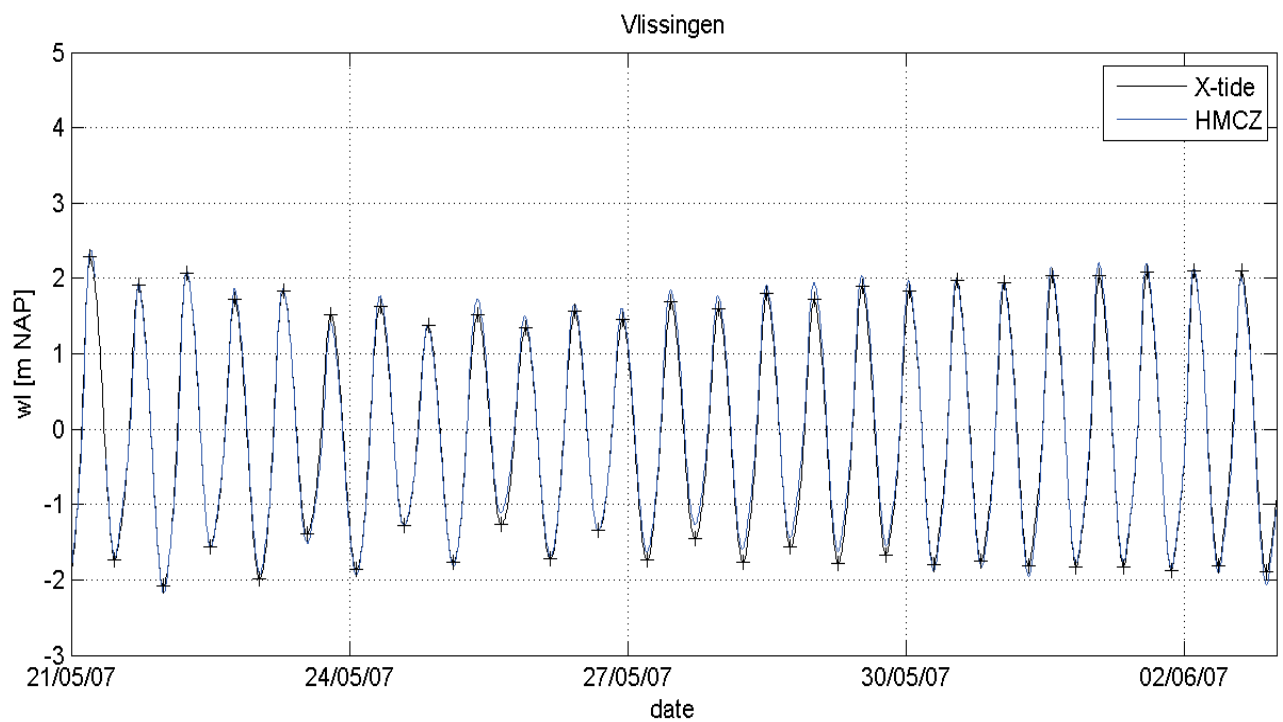




Figuur 11: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen

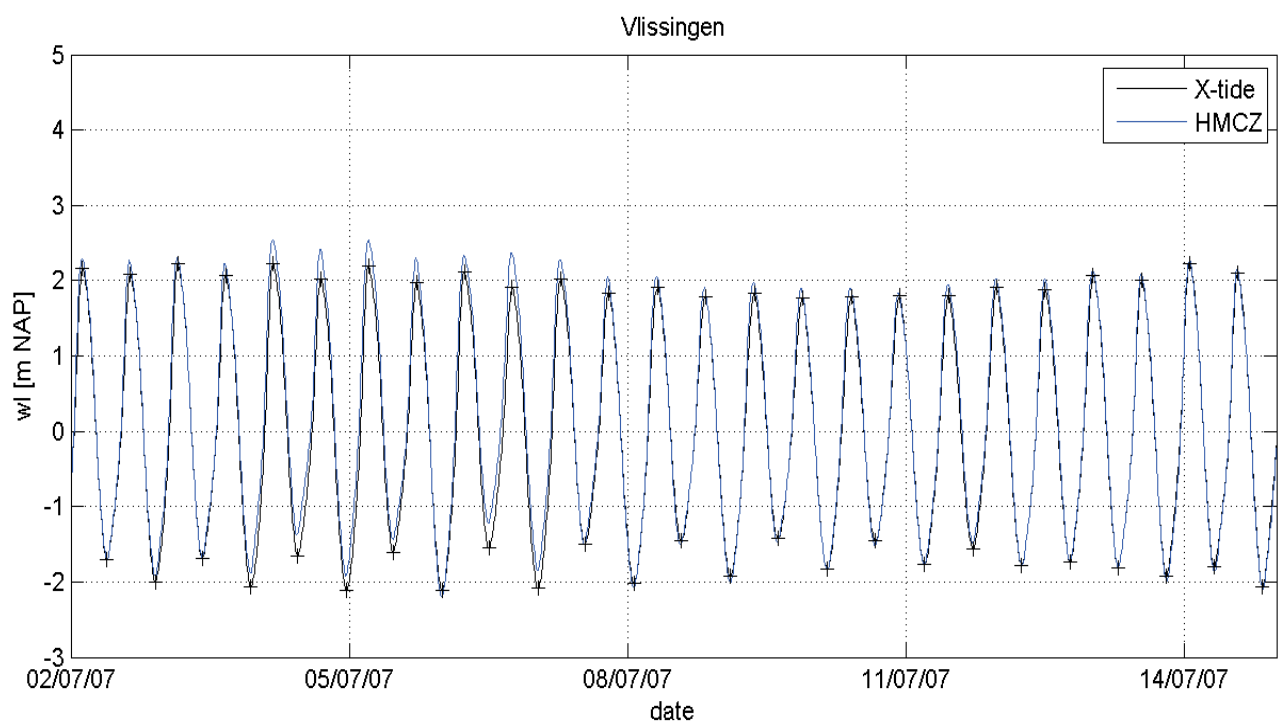
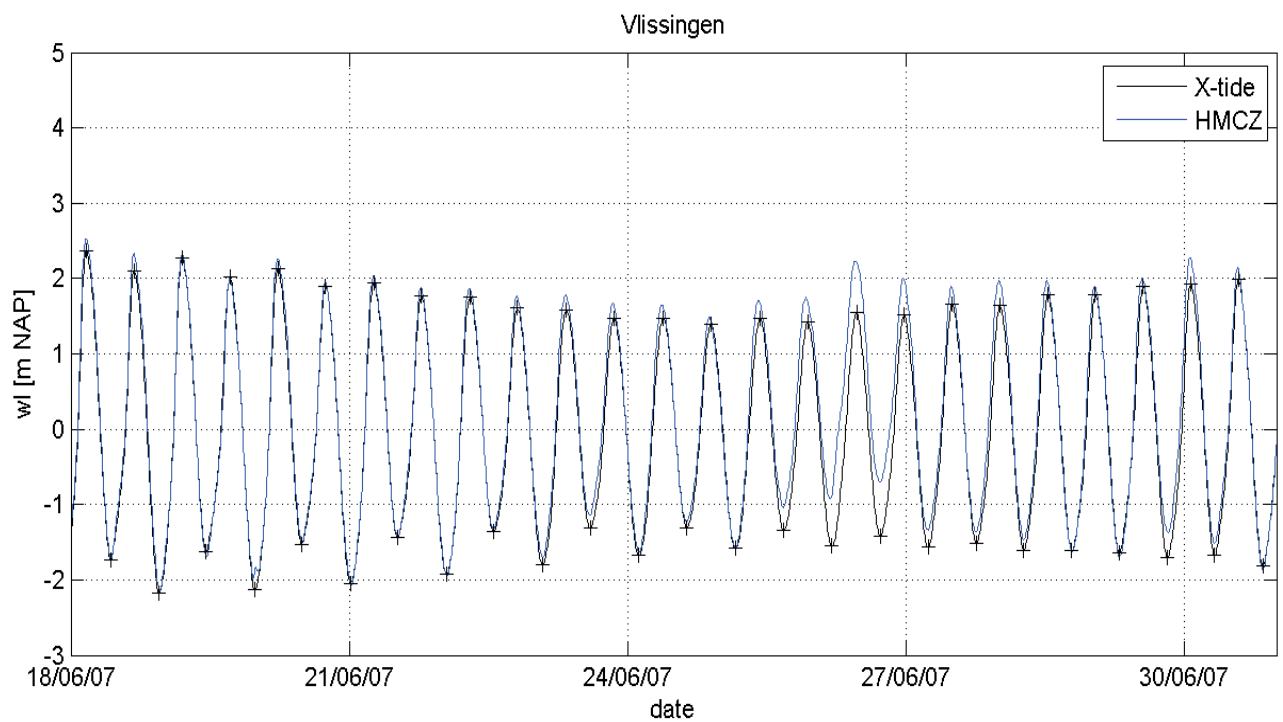






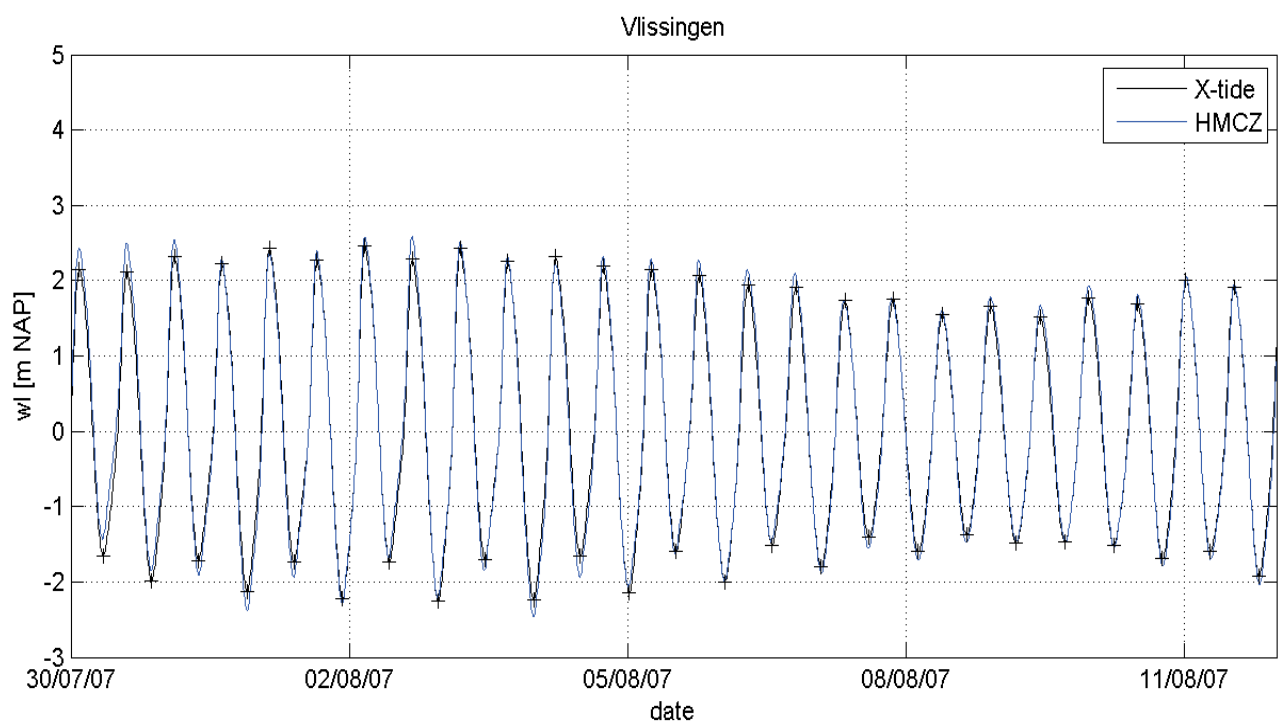
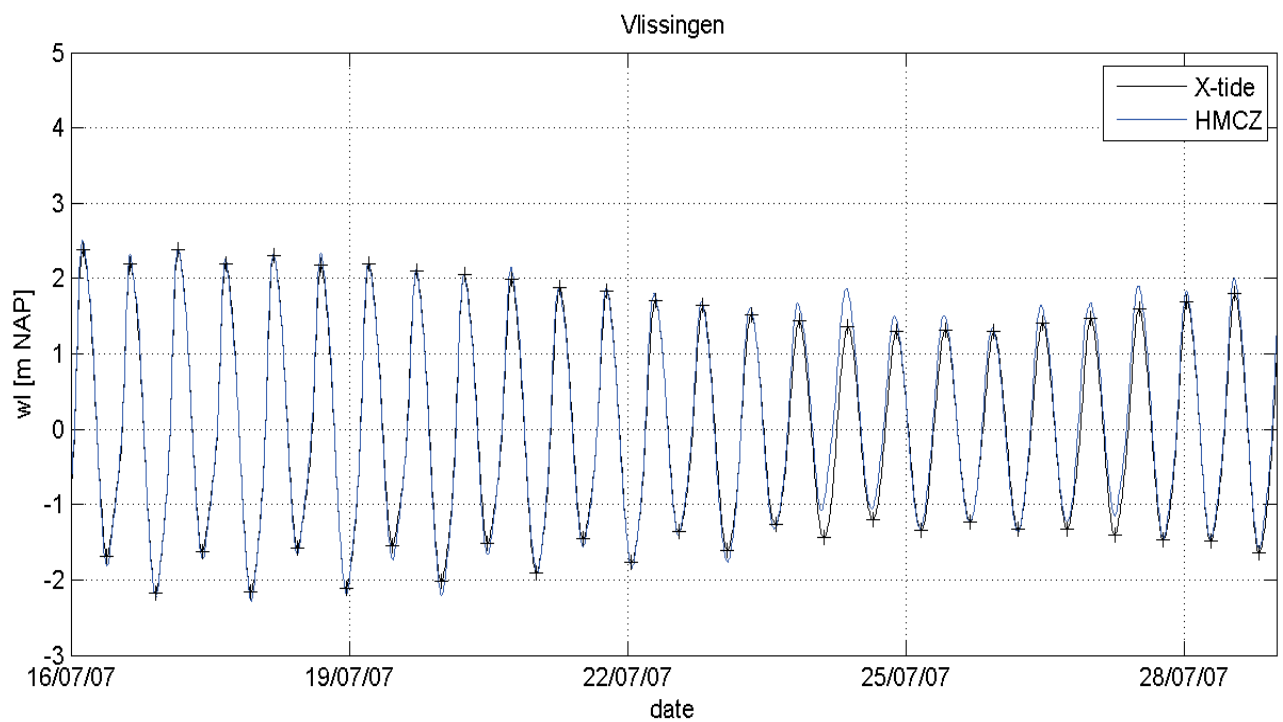
Figuur 12: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen





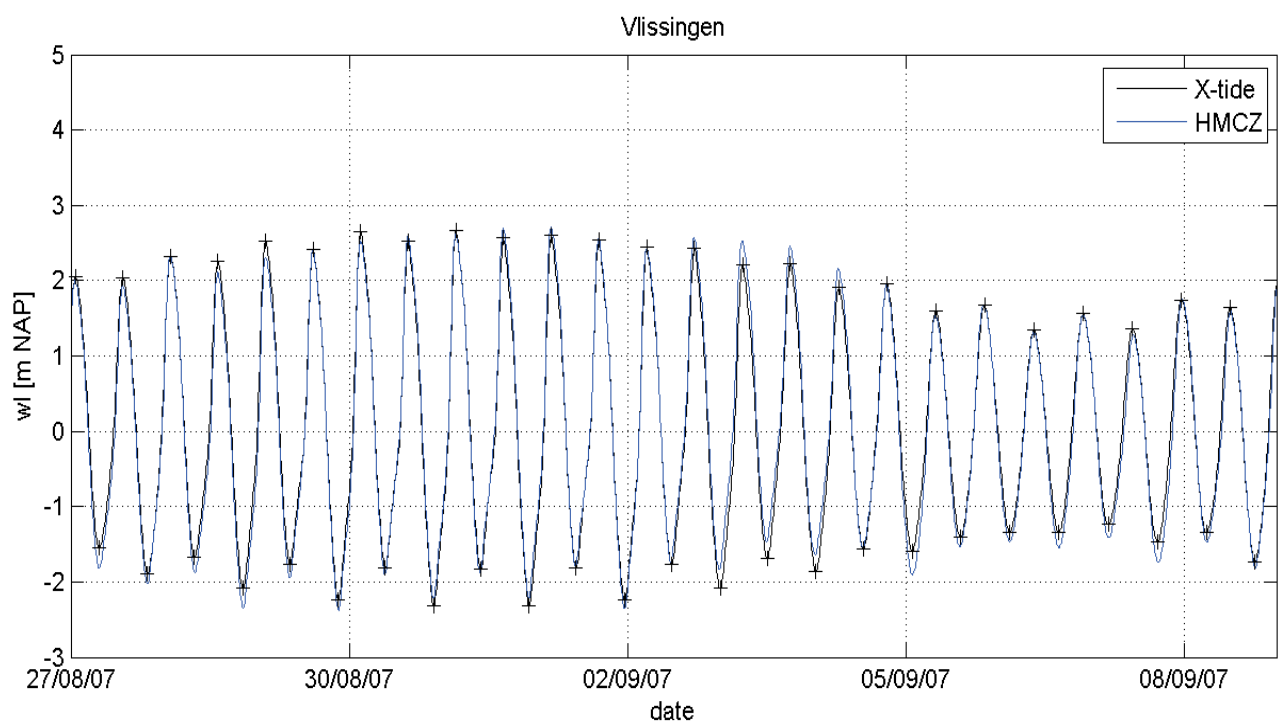
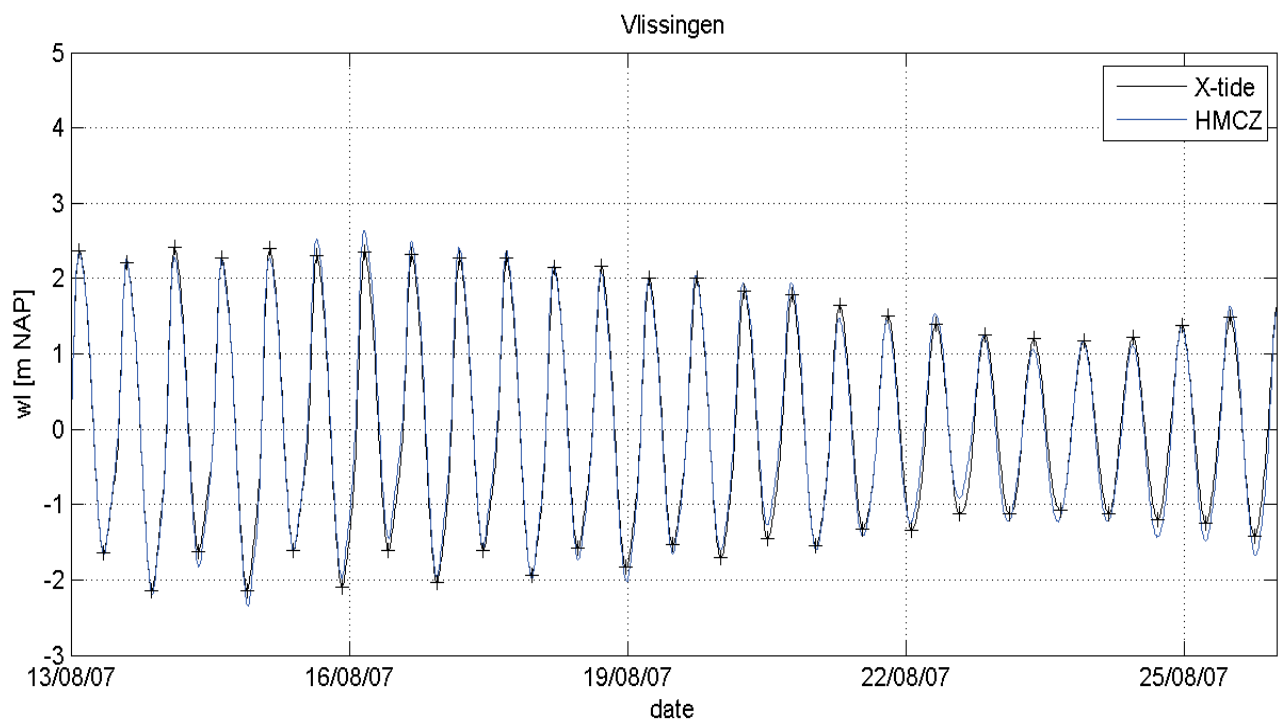
Figuur 13: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen





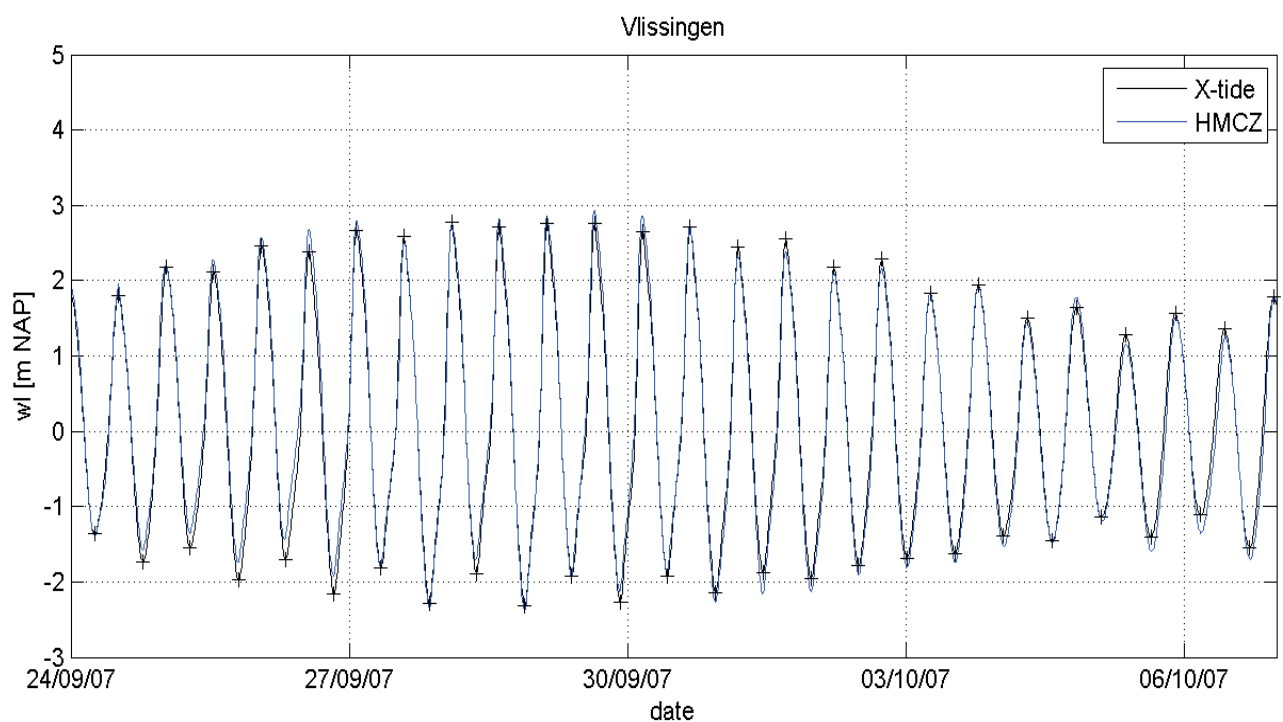
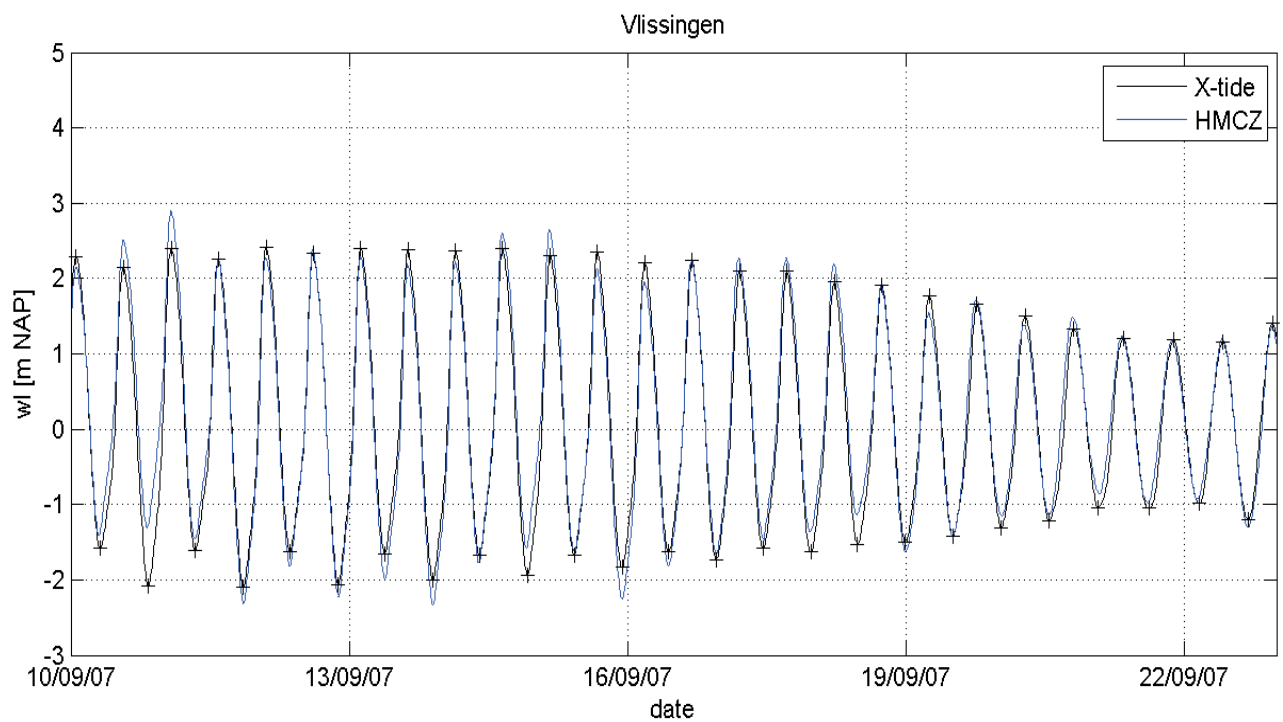
Figuur 14: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen



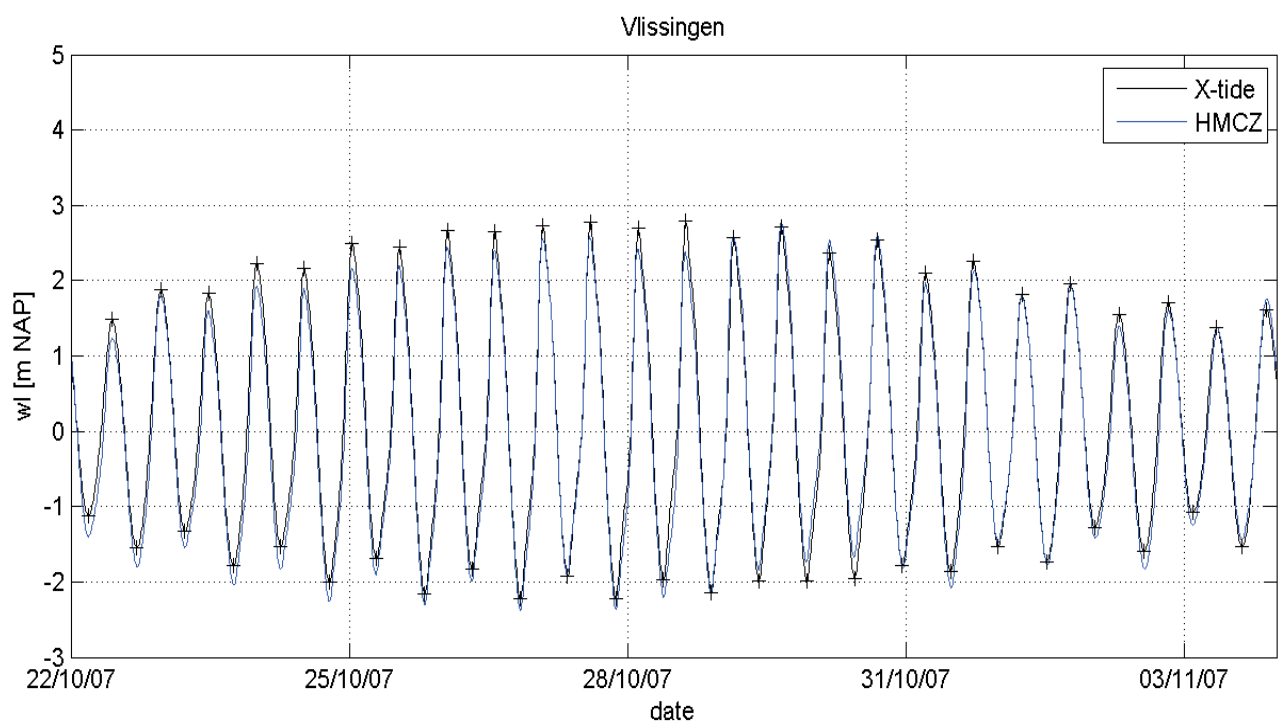
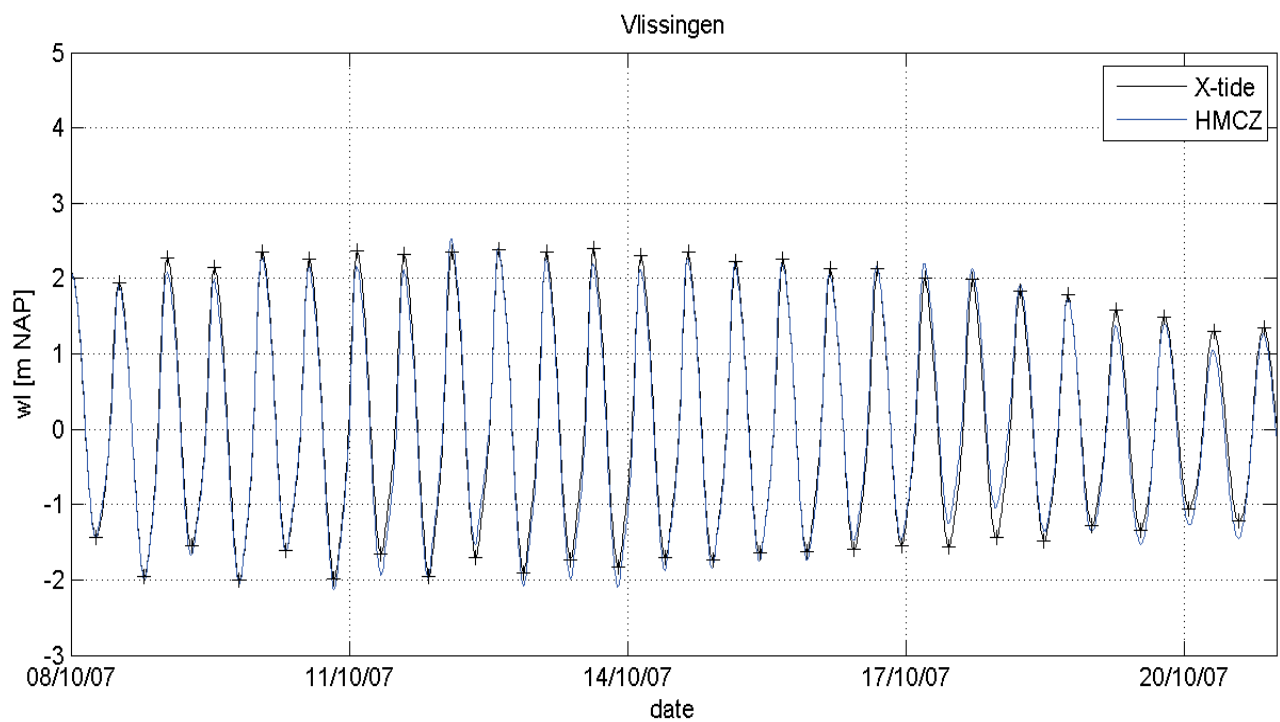


Figuur 15: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen





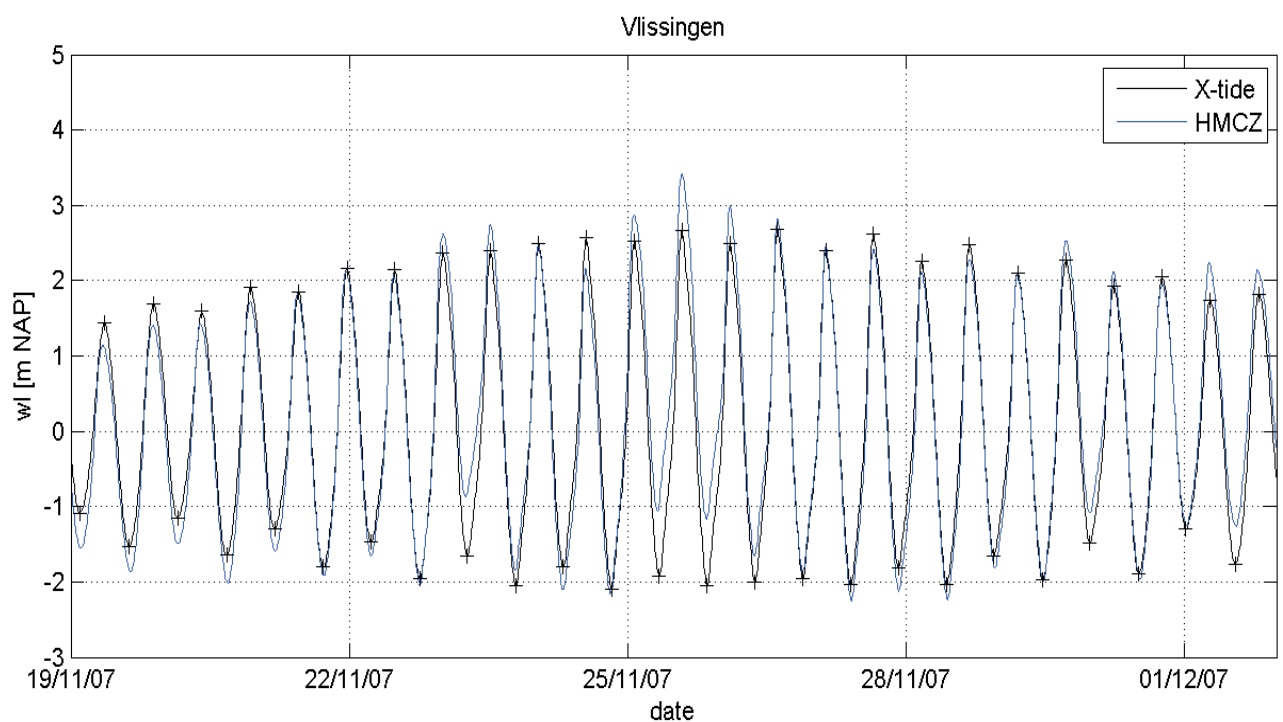
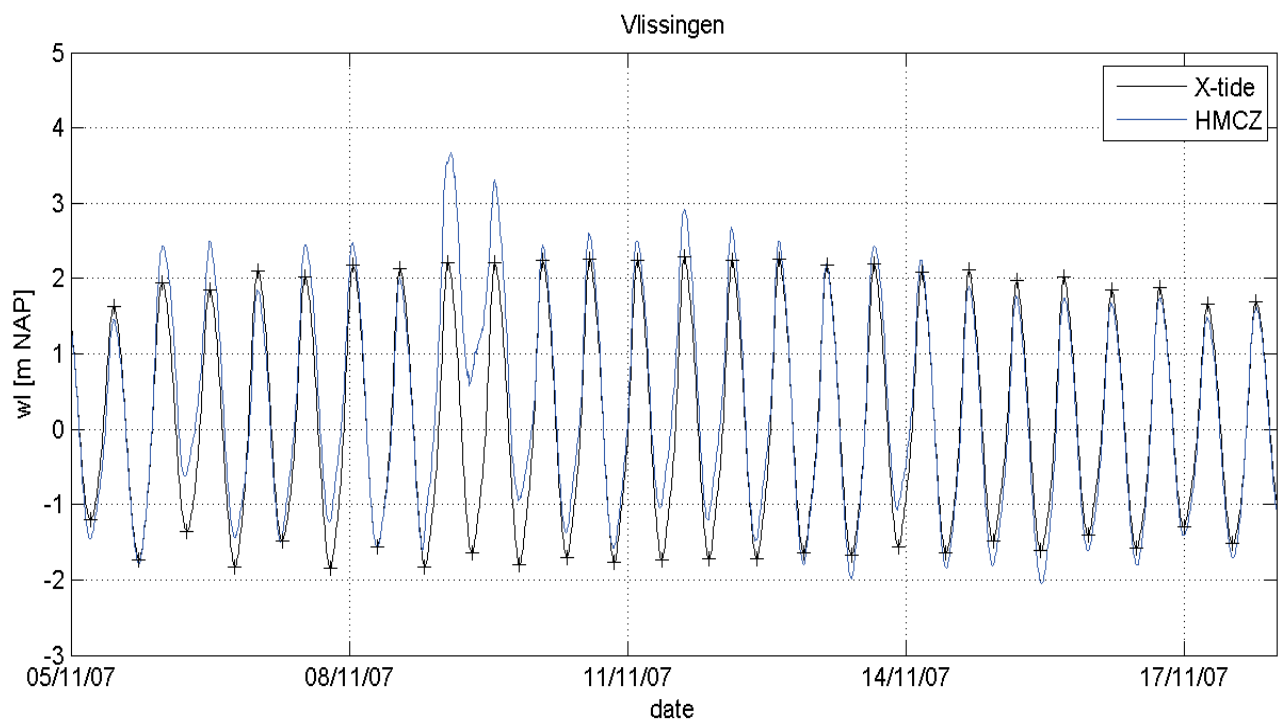
Figuur 16: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen



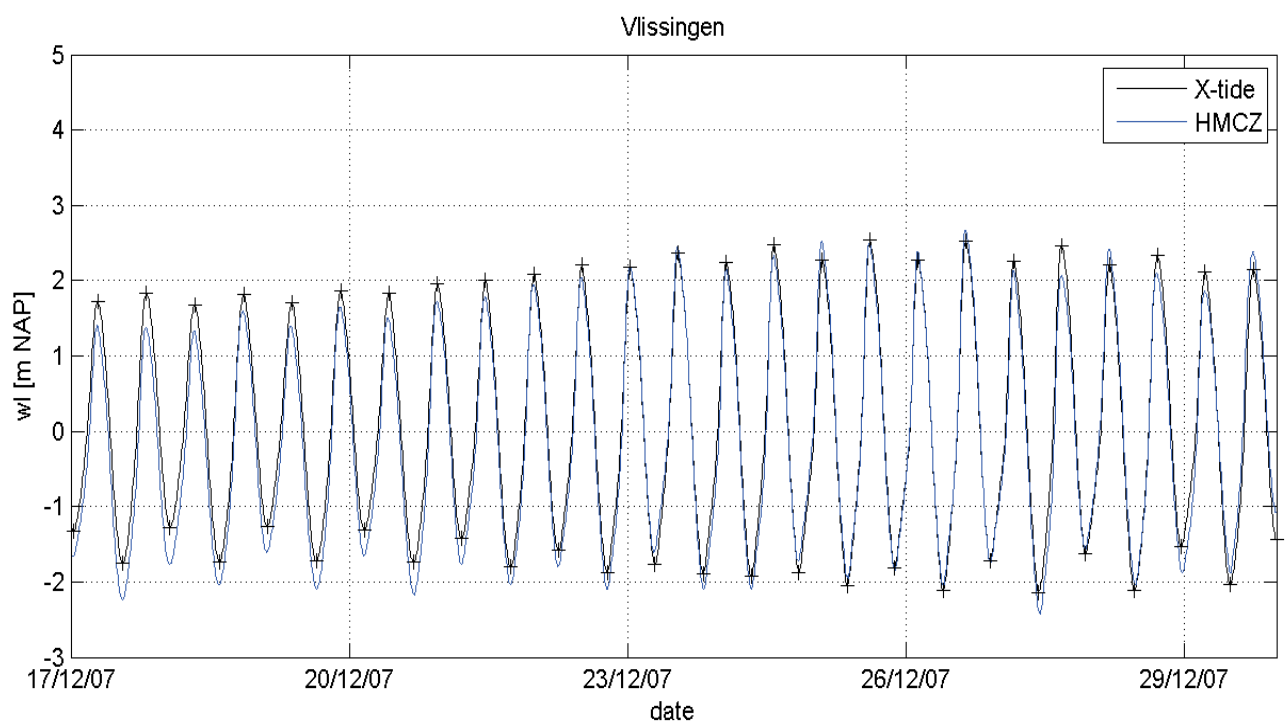
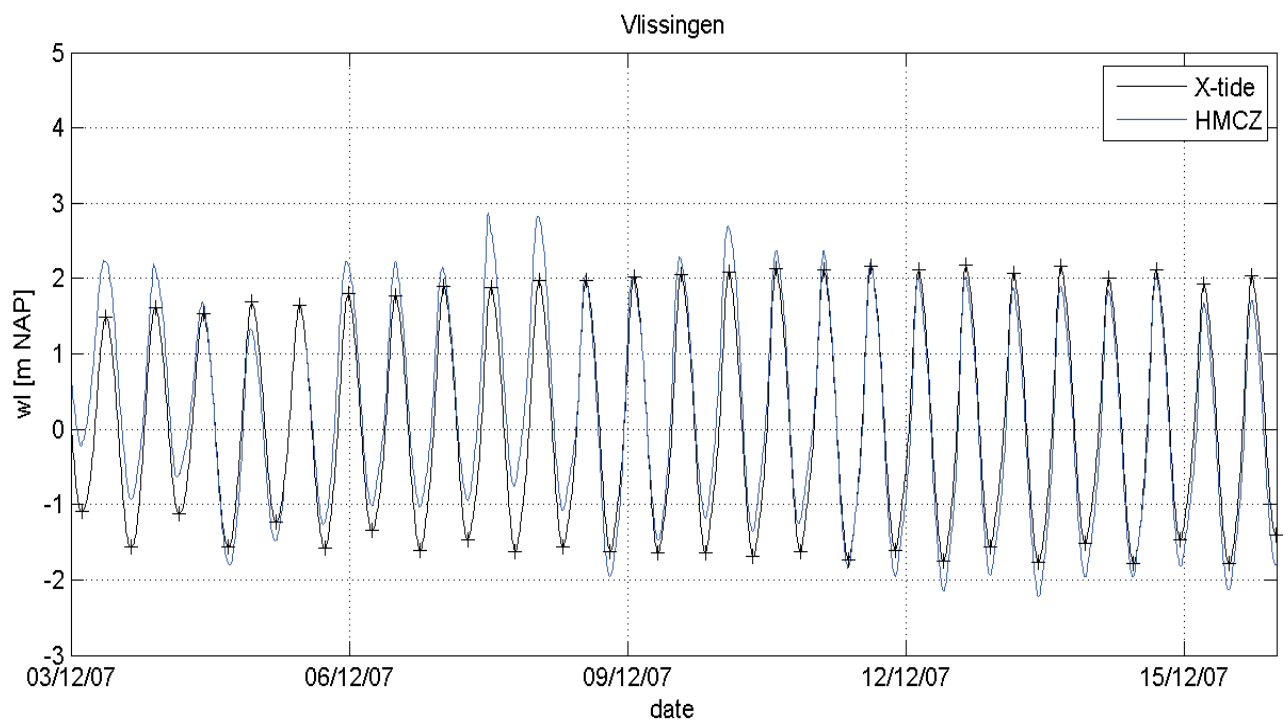
Figuur 17: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen







Figuur 18: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen



Figuur 19: Gemeten waterstand (HMCZ) en harmonische voorspelling (Xtide) te Vlissingen



# BIJLAGE B: HARMONISCHE COMPONENTEN TE VLISSINGEN

Bron: xtide database in t\_tide v1.1

Harmonische componenten van de waterstand te Vlissingen, gerangschikt volgens hun bijdrage in de amplitude.

Het datum voor Vlissingen ligt op 2.13m voor waterstanden in NAP. Dit komt in de harmonische analyse overeen met de amplitude van de component Z0 (hoeksnelheid 0)

naam	Hoeksnelheid [cycles/uur]	Periode [uur]	Amplitude Vlissingen [m]	Fase Vlissingen [°]
M2	28,98	12,4	1,75	59,6
S2	30,00	12,0	0,48	117,1
N2	28,44	12,7	0,29	32,8
K2	30,08	12,0	0,14	117,8
2MN2	29,53	12,2	0,14	258,6
M4	57,97	6,2	0,13	119,5
MU2	27,97	12,9	0,13	165,2
O1	13,94	25,8	0,11	198,0
NU2	28,51	12,6	0,10	27,9
MS4	58,98	6,1	0,09	179,9
2MS6	87,97	4,1	0,09	160,2
M6	86,95	4,1	0,09	108,2
SA	0,04	8765,8	0,07	216,1
K1	15,04	23,9	0,07	11,5
LDA2	29,46	12,2	0,05	76,4
3MS8	116,95	3,1	0,05	163,6
2MN6	86,41	4,2	0,04	82,0
Q1	13,40	26,9	0,04	143,3
MN4	57,42	6,3	0,04	94,6
NLK2	27,89	12,9	0,04	347,7
MSF	1,02	354,4	0,04	33,2
2SM2	31,02	11,6	0,04	345,8
M8	115,94	3,1	0,03	113,4
MPS2	28,94	12,4	0,03	98,1
3MS2	26,95	13,4	0,03	283,7
MSN2	30,54	11,8	0,03	321,1
2MK3	42,93	8,4	0,03	166,4
P1	14,96	24,1	0,03	1,3
MNS2	27,42	13,1	0,03	140,3
T2	29,96	12,0	0,03	106,4
MK4	59,07	6,1	0,02	185,5
3MN8	115,39	3,1	0,02	82,9
MK3	44,03	8,2	0,02	310,3
2MK6	88,05	4,1	0,02	164,9
2ML2S2	27,50	13,1	0,02	327,0
3MSN6	88,51	4,1	0,02	356,0
3MS4	56,95	6,3	0,02	204,4
SKM2	31,10	11,6	0,02	354,7
MSN6	87,42	4,1	0,02	149,9
2MSN8	116,41	3,1	0,02	141,4
2SM6	88,98	4,0	0,02	227,1
3MN4	58,51	6,2	0,02	304,4
2(MS)8	117,97	3,1	0,02	222,7
MSK2	28,90	12,5	0,02	246,5
3MKS2	26,87	13,4	0,02	283,0
SO3	43,94	8,2	0,01	238,9
2MLS4	57,50	6,3	0,01	265,0

naam	Hoeksnelheid [cycles/uur]	Periode [uur]	Amplitude Vlissingen [m]	Fase Vlissingen [°]
2MNU6	86,48	4,2	0,01	64,0
4MS10	145,94	2,5	0,01	224,9
2MSN4	59,53	6,0	0,01	12,8
NO3	42,38	8,5	0,01	119,6
4MS6	85,94	4,2	0,01	188,4
2NM6	85,86	4,2	0,01	57,6
OQ2-HORN	27,34	13,2	0,01	316,0
3MK8	117,03	3,1	0,01	174,2
MKS2	29,07	12,4	0,01	233,4
M1C	14,49	24,8	0,01	167,6
S1	15,00	24,0	0,01	338,5
SK3	45,04	8,0	0,01	8,2
3MNS6	85,39	4,2	0,01	176,3
MSK6	89,07	4,0	0,01	232,4
3MNS10	145,39	2,5	0,01	201,3
2(MN)8	114,85	3,1	0,01	53,5
3MO5	73,01	4,9	0,01	230,7
2MNS4	56,41	6,4	0,01	173,1
2MSK8	118,05	3,0	0,01	225,2
MSP2	29,03	12,4	0,01	114,5
5MS12	174,92	2,1	0,01	201,1
3M2S10	146,95	2,4	0,01	279,2
M10	144,92	2,5	0,01	180,3
4MN10	144,38	2,5	0,01	150,0
4MNS12	174,38	2,1	0,01	176,7
4M2S12	175,94	2,0	0,01	254,4
3MK5	71,91	5,0	0,01	89,9
S4	60,00	6,0	0,01	279,9
MSK5	74,03	4,9	0,01	288,6
3MSK6	86,87	4,1	0,01	269,8
2MNK8	116,49	3,1	0,01	151,2
2MP3	43,01	8,4	0,005	139,8
2MP5	72,93	4,9	0,005	180,7
2MSK4	57,89	6,2	0,005	260,1
MKNU6	87,58	4,1	0,005	138,0
3MSK9	131,99	2,7	0,004	352,8
M12	173,90	2,1	0,004	161,2
MNO5	71,37	5,0	0,004	54,7
2MSO7	101,91	3,5	0,004	247,0
4MK9	130,98	2,7	0,003	296,3
4MS4	55,94	6,4	0,003	308,1
2MNO7	100,35	3,6	0,003	137,8
3MNK9	130,43	2,8	0,002	274,8
2(MS)N10	146,41	2,5	0,002	277,4
4MSK11	160,98	2,2	0,002	318,6
M7	101,45	3,5	0,001	44,0
3KM5	74,11	4,9	0,001	112,8

## BIJLAGE C: RESULTATEN VOOR JANUARI VLISSINGEN 2007

XTIDE		mTAW	Amplitude [m]	klasse
LW	1-01-07 6:03	0,80	3,52	GT
HW	1-01-07 12:01	4,32		
LW	1-01-07 18:35	0,56	3,71	GT
HW	2-01-07 0:36	4,27		
LW	2-01-07 7:00	0,61	3,87	GT
HW	2-01-07 12:58	4,48		
LW	2-01-07 19:25	0,54	3,83	GT
HW	3-01-07 1:29	4,37		
LW	3-01-07 7:52	0,44	4,16	GT
HW	3-01-07 13:50	4,61		
LW	3-01-07 20:11	0,56	3,88	GT
HW	4-01-07 2:17	4,44		
LW	4-01-07 8:40	0,33	4,35	ST
HW	4-01-07 14:38	4,67		
LW	4-01-07 20:53	0,62	3,86	GT
HW	5-01-07 3:02	4,48		
LW	5-01-07 9:25	0,27	4,41	ST
HW	5-01-07 15:21	4,68		
LW	5-01-07 21:32	0,69	3,79	GT
HW	6-01-07 3:42	4,48		
LW	6-01-07 10:06	0,27	4,36	ST
HW	6-01-07 16:02	4,63		
LW	6-01-07 22:10	0,76	3,70	GT
HW	7-01-07 4:20	4,46		
LW	7-01-07 10:45	0,31	4,23	ST
HW	7-01-07 16:41	4,54		
LW	7-01-07 22:46	0,80	3,60	GT
HW	8-01-07 4:57	4,41		
LW	8-01-07 11:22	0,37	4,04	GT
HW	8-01-07 17:20	4,41		
LW	8-01-07 23:22	0,84	3,48	GT
HW	9-01-07 5:35	4,33		
LW	9-01-07 11:57	0,45	3,80	GT
HW	9-01-07 17:58	4,25		
LW	9-01-07 23:59	0,89	3,32	DT
HW	10-01-07 6:14	4,21		
LW	10-01-07 12:34	0,55	3,54	GT
HW	10-01-07 18:40	4,09		
LW	11-01-07 0:38	0,96	3,09	DT
HW	11-01-07 6:57	4,05		
LW	11-01-07 13:14	0,68	3,25	DT
HW	11-01-07 19:26	3,92		
LW	12-01-07 1:25	1,05	2,82	DT
HW	12-01-07 7:48	3,87		
LW	12-01-07 14:03	0,82	2,96	DT
HW	12-01-07 20:19	3,77		
LW	13-01-07 2:32	1,15	2,56	DT
HW	13-01-07 8:48	3,71		
LW	13-01-07 15:08	0,94	2,73	DT
HW	13-01-07 21:22	3,67		
LW	14-01-07 3:49	1,18	2,46	DT
HW	14-01-07 9:57	3,64		
LW	14-01-07 16:18	0,99	2,69	DT
HW	14-01-07 22:35	3,68		
LW	15-01-07 4:56	1,12	2,59	DT
HW	15-01-07 11:06	3,71		

LW	15-01-07 17:24	0,95	2,87	DT
HW	15-01-07 23:42	3,82		
LW	16-01-07 5:55	1,00	2,91	DT
HW	16-01-07 12:05	3,91		
LW	16-01-07 18:19	0,86	3,16	DT
HW	17-01-07 0:35	4,01		
LW	17-01-07 6:48	0,83	3,31	DT
HW	17-01-07 12:55	4,14		
LW	17-01-07 19:07	0,75	3,46	DT
HW	18-01-07 1:20	4,21		
LW	18-01-07 7:36	0,64	3,74	GT
HW	18-01-07 13:38	4,38		
LW	18-01-07 19:51	0,65	3,72	GT
HW	19-01-07 2:01	4,37		
LW	19-01-07 8:21	0,45	4,13	GT
HW	19-01-07 14:19	4,58		
LW	19-01-07 20:33	0,57	3,93	GT
HW	20-01-07 2:41	4,50		
LW	20-01-07 9:05	0,27	4,46	ST
HW	20-01-07 14:58	4,74		
LW	20-01-07 21:16	0,52	4,06	GT
HW	21-01-07 3:20	4,58		
LW	21-01-07 9:51	0,13	4,69	ST
HW	21-01-07 15:39	4,82		
LW	21-01-07 22:00	0,51	4,10	GT
HW	22-01-07 4:01	4,62		
LW	22-01-07 10:36	0,04	4,77	ST
HW	22-01-07 16:21	4,82		
LW	22-01-07 22:43	0,53	4,07	GT
HW	23-01-07 4:43	4,60		
LW	23-01-07 11:21	0,03	4,71	ST
HW	23-01-07 17:05	4,73		
LW	23-01-07 23:27	0,58	3,96	GT
HW	24-01-07 5:27	4,55		
LW	24-01-07 12:06	0,08	4,50	ST
HW	24-01-07 17:54	4,58		
LW	25-01-07 0:12	0,65	3,80	GT
HW	25-01-07 6:15	4,45		
LW	25-01-07 12:51	0,20	4,18	GT
HW	25-01-07 18:47	4,38		
LW	26-01-07 1:00	0,75	3,56	GT
HW	26-01-07 7:10	4,30		
LW	26-01-07 13:41	0,38	3,77	GT
HW	26-01-07 19:47	4,15		
LW	27-01-07 1:56	0,86	3,27	DT
HW	27-01-07 8:13	4,13		
LW	27-01-07 14:40	0,59	3,33	DT
HW	27-01-07 20:53	3,92		
LW	28-01-07 3:06	0,96	3,02	DT
HW	28-01-07 9:24	3,98		
LW	28-01-07 15:54	0,78	3,00	DT
HW	28-01-07 22:09	3,78		
LW	29-01-07 4:29	0,97	2,98	DT
HW	29-01-07 10:41	3,95		
LW	29-01-07 17:17	0,83	2,99	DT
HW	29-01-07 23:25	3,82		
LW	30-01-07 5:50	0,83	3,27	DT
HW	30-01-07 11:56	4,10		
LW	30-01-07 18:22	0,77	3,24	DT
HW	31-01-07 0:31	4,01		
LW	31-01-07 6:54	0,60	3,72	GT
HW	31-01-07 12:59	4,33		
LW	31-01-07 19:16	0,70	3,50	GT



## BIJLAGE D: STATISTISCHE FORMULES

Deze bijlage geeft een oplijsting van de formules die gebruikt zijn in hoofdstuk 4, kwaliteit van de voorspelling.

### Mediaan

In de statistiek is de mediaan het midden van een verdeling of gegevensverzameling en is een centrummaat.

Voor een oneven steekproefomvang is de mediaan het middelste element in de geordende steekproef. Bij even omvang neemt men het gemiddelde van de middelste twee.

### Modus

De modus is een maat om de centrale waarde van een frequentieverdeling aan te geven. Het is de waarde of (waarnemings)klasse met de grootste voorkomingsfrequentie. Bij een symmetrische verdeling ligt de modus dicht bij het gemiddelde en de mediaan, bij een scheve verdeling niet.

### Standaarddeviatie

De standaarddeviatie  $s$  is de wortel van de variantie. Voor een steekproef is de variantie het gemiddelde van de kwadraten van de afwijking van de metingen ten opzichte van het gemiddelde van de gegevens.

Voor een steekproef  $x_1, \dots, x_n$  is de standaarddeviatie  $s$  berekend via:

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

(bron: <http://office.microsoft.com/en-us/excel>)

Hierbij is  $\bar{x}$  het gemiddelde over alle waarnemingen en  $n$  het aantal waarnemingen.

### Scheefheid

Het begrip scheefheid (Engels: skewness) is in de statistiek de meestgebruikte maat van asymmetrie.

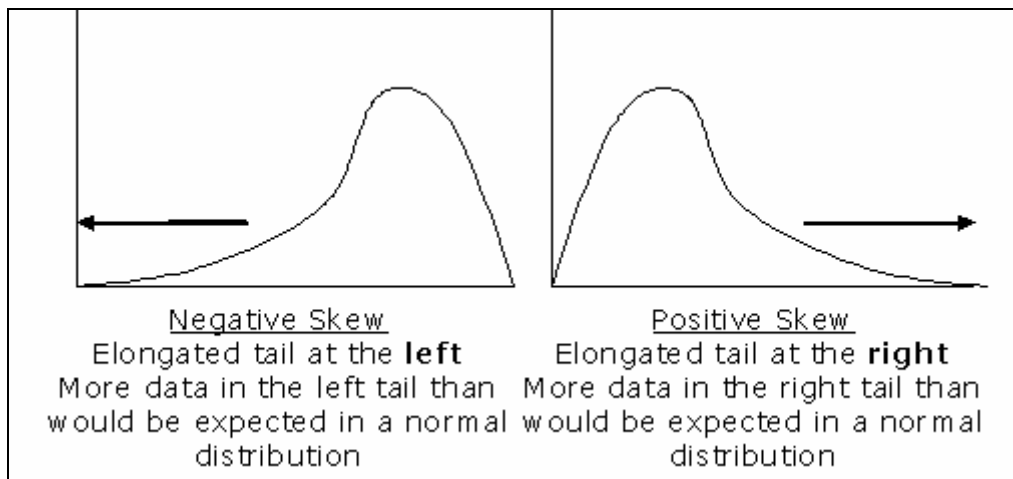
Voor een steekproef  $x_1, \dots, x_n$  is de scheefheid berekend via:

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_j - \bar{x}}{s} \right)^3$$

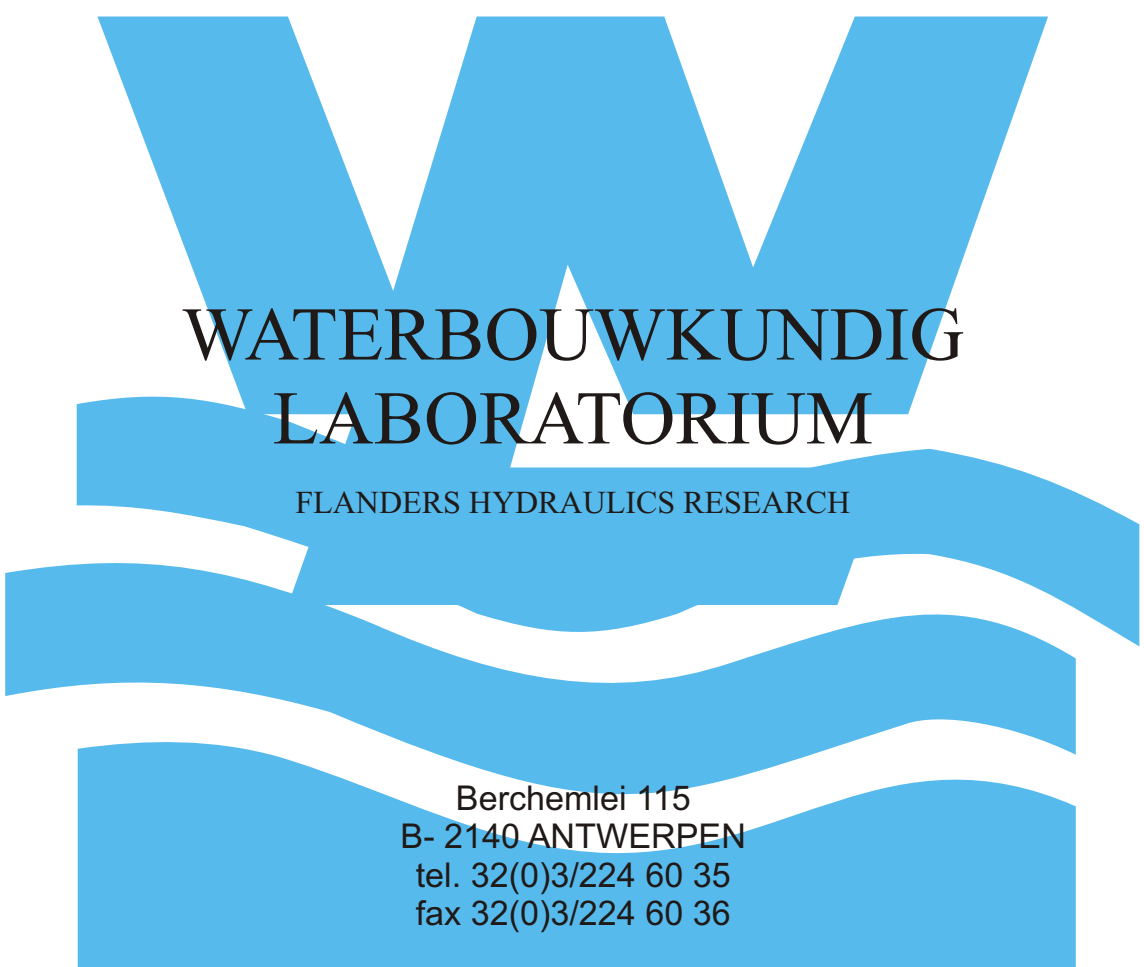
(bron: <http://office.microsoft.com/en-us/excel>)

Hierbij is  $s$  de standaarddeviatie.

Het begrip scheefheid wordt verder geïllustreerd in figuur 20.



Figuur 20: positieve vs negatieve scheefheid (bron: wikipedia)



# WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH

Berchemlei 115  
B- 2140 ANTWERPEN  
tel. 32(0)3/224 60 35  
fax 32(0)3/224 60 36

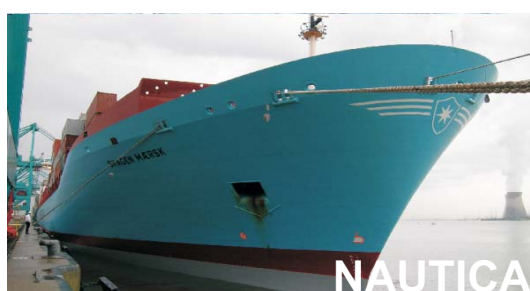
e-mail: [waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

<http://www.watlab.be>



## WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

### FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH



Vlaamse overheid  
Departement Mobiliteit en Openbare Werken  
afdeling Waterbouwkundig Laboratorium  
Berchemlei 115 - B-2140 Antwerpen